

С.Л. Никулин, О.В. Коробко

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ  
ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ  
ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Аннотация. Исследована эффективность применения различных методов предварительной обработки космических снимков для повышения качества выделения границ и контуров природных объектов. Экспериментальным путём установлено, что увеличение количества выделяемых целостных и протяжённых границ достигается путём предварительной обработки снимков методом контрастно-ограниченного адаптивного выравнивания гистограммы.*

*Ключевые слова: космические снимки, границы яркости, обработка изображений, оптимальный детектор Кенни.*

**Постановка задачи и состояние проблемы**

В настоящее время всё большее количество инженерно-технических задач решается с использованием космических снимков поверхности Земли. К таким задачам относятся мониторинг инженерно-технических сооружений (дорог, трубопроводов, зданий, промышленных объектов), сельхозугодий, разведка и эксплуатация недр, управление имуществом и территориями, и многие другие. Одним из стандартных этапов обработки снимков является выявление т.н. границ – контуров площадных объектов и осей линейных объектов. Они могут быть как чёткими и объективно существующими (как, например, контур здания или автодорога), так и нечёткими или существующими лишь условно (например, ось древнего геологического разлома или граница болота). Как правило, границы второго типа соответствуют природным объектам, поэтому их выделение выполняется менее успешно (они выделяются лишь частично и представляются прерывистыми, фрагментарными), по сравнению с техногенными объектами, имеющими обычно более простые и чёткие контуры.

Существует целый ряд подходов к автоматическому выделению границ природных объектов. Чаще всего используется один из них, заключающийся в предварительном выявлении узких вытянутых зон резкого перепада значений яркости (фототона) снимка – т.н. границ яркости. Для этого используются разнообразные масочные алгоритмы, наиболее приемлемым из которых считается оптимальный детектор Кэнни [1], преобразующий исходный снимок в бинарное изображение, на котором единичные пикселы соответствуют наличию границы, а нулевые – её отсутствию.

Предварительные исследования показали, что повышение качества выявления границ яркости может быть достигнуто путём дополнительной обработки космических снимков. Традиционно на практике применяется ряд несложных методов – контрастирование, коррекция яркости, эквализация гистограммы космоснимка. Вместе с тем, в теории обработки цифровых изображений [2] существует большое количество методов, которые до настоящего времени не применялись для указанных целей.

**Цель работы** – экспериментальная оценка ряда методов обработки изображений и выявление наиболее эффективных при решении задачи выделения границ яркости на синтезированных и панхроматических космических снимках.

#### **Исходные данные и инструментарий исследований**

В качестве исходных данных выступали 20 синтезированных космических снимков, различного пространственного и спектрального разрешения, сделанных аппаратурой Landsat-7, Terra MODIS, Spot-4, а также снимки Google. Снимки представляют различные участки Земного шара, находящиеся в различных геологических и ландшафтных условиях.

Обработка исходных космоснимков исследуемыми методами производилась в среде MatLab, выделение границ яркости обработанных снимков выполнялась в среде специализированной ГИС РАПИД, разрабатываемой на кафедре геоинформационных систем ГБУЗа «НГУ» [3].

В таблице 1 приведены условные названия и краткая характеристика снимков.

## Исходные данные для экспериментов

Название снимка	Характеристика снимка
Месторождение Зармитан (Узбекистан)	синтезированный снимок SPOT-4 (разрешение 20 м) золоторудного месторождения Зармитан
Месторождение Зиаэтдин (Узбекистан)	панхроматический снимок Landsat-5 (разрешение 15 м) золоторудного месторождения Зиаэтдин
Фрагмент территории Китая	синтезированный космический снимок Landsat-5 (разрешение 30 м) фрагмента горной местности территории провинции Сычуань (Китай)
Сельхозугодья, Украина	синтезированный космический снимок Landsat-5 (разрешение 30 м; каналы 1,2,4) части территории Магдалиновского р-на Днепропетровской области
Фрагмент территории Афганистана	снимок Google части горной территории Афганистана
Фрагмент территории Мексики	снимок Google части горной территории Мексики
Фрагмент территории Норвегии	снимок Google фрагмента северной части Норвегии
Фрагмент территории Перу	снимок Google фрагмента восточной части Перу
Месторождение Султануиздаг (Узбекистан)	снимок Google золоторудного месторождения Султануиздаг (Узбекистан)
Фрагмент Тибета	снимок Google части горной территории Тибета
Фрагмент территории Финляндии	снимок Google части среднегорной территории Финляндии
Фрагмент территории Шотландии	снимок Google фрагмента северной части Шотландии (район разлома Глен-Мор)
Дождевой лес, Малайзия	снимок Google фрагмента территории Малайзии
Попигайский метеоритный кратер	космический снимок Landsat-7 Попигайского метеоритного кратера (Россия)
Фрагмент территории о.Суматра	снимок Google территории побережья о.Суматра, Индонезия (разрешение ок. 10 м)
Фрагмент территории Забайкалья	снимок Google, включающий северную часть акватории оз. Байкал и территорию Забайкалья (разрешение ок. 250 м)
Фрагмент территории Австралии	снимок Terra Modis (разрешение 500 м) восточной части Австралии
Фрагмент территории Марокко	снимок Terra Modis (разрешение 250 м) западной части Марокко
Фрагмент территории Азии	обзорный космический снимок территории Азии (разрешение ок. 10000 м)
Центральные Карпаты	снимок Terra Modis (разрешение 250 м) центральной части Карпат

**Методика и результаты исследований**

В работе исследовались такие методы обработки изображений [2, 4-6]:

- среднеконтргармонический фильтр;
- метод нечеткого маскирования;
- контрастно-ограниченное адаптивное выравнивание гистограммы;
- метод Люси-Ричардсона;
- разностный метод;
- метод с использованием среднеквадратических отклонений интенсивности пикселей локальных окрестностей;
- на основе фильтра усеченного среднего;
- на основе фильтра Кувахары (Kuwahara);
- на основе линейного фильтра Винера;
- на основе фильтра срединной точки.

Эксперименты проводились по следующей методике.

1. В среде MatLab каждое из исходных изображений обрабатывалось вышеперечисленными методами. В результате получено 200 изображений, которые подвергались дальнейшей обработке.

2. В среде ГИС РАПИД на исходных и преобразованных изображениях оптимальным детектором Кенни выделялись границы яркости. В результате получено 210 бинарных изображений, на которых единицы соответствуют границам яркости. Некоторые из полученных бинарных карт, относящихся к территории Забайкалья, приведены на рисунке 1. Следует отметить высокую концентрацию и криволинейность выделяемых границ, что обусловлено их естественным происхождением и сложным рисунком рельефа местности.

3. Выполнялась оценка качества выделения границ яркости до и после применения исследуемых методов обработки изображений.

Оценка качества выделения обычно основывается на использовании интуитивно-понятных эвристических критериев качества выделения границ:

а) выделяемые границы должны быть максимально целостными и не иметь большого количества разрывов; выполнение этого условия на практике ведёт к росту количества пикселей, относимых к граничным.

б) должны выделяться только основные границы, имеющие достаточную протяжённость и чёткость. В противном случае может возникнуть ситуация, когда получаемое бинарное изображение перегружено многочисленными 1-2-пиксельными фрагментами. На практике выполнение этого условия ведёт к уменьшению количества пикселей, относимых к граничным.

Таким образом, указанные требования, при всей своей очевидности, на практике являются взаимоисключающими – максимальное удовлетворение одного ведёт к минимальному удовлетворению другого. Поэтому наиболее продуктивным представляется подход к оценке качества выделения, основанный на использовании двух предлагаемых ниже показателей качества выделения границ. Они легко вычисляются, имеют простой геометрический смысл, а их совместное использование не требует применения процедур многокритериальной оптимизации.

Предлагается использовать следующие показатели:

$N$  – количество единичных (ненулевых) пикселей, соответствующих границам яркости на бинарном изображении. Характеризует общее количество выделенных границ и вычисляется путём суммирования пикселей с единичными значениями.

$F = K/N$ , где  $K$  – количество непрерывных фрагментов границ на изображении. Этот показатель характеризует степень целостности границ. Чем он ниже, тем более надёжно и уверенно выделены границы.

Значения показателей  $N$  и  $F$  автоматически рассчитывались для всех исходных и обработанных различными методами изображений и заносились в таблицы. Показатели  $N$  и  $F$ , приведенные в каждой из таблиц, упорядочивались по возрастанию и, в зависимости от их полученного порядкового номера, им присваивался ранг от 1 (наименьшее значение) до 11 (наибольшее значение).

По результатам ранжирования показателей  $N$  и  $F$  были построены таблицы 2 и 3, содержащие ранги этих показателей для исследуемых методов, рассчитанные для каждого снимка. Они послужили основой для формулирования выводов и рекомендаций относительно применимости исследованных методов в процедурах обработки космоснимков и, в частности, выделения линеаментов.

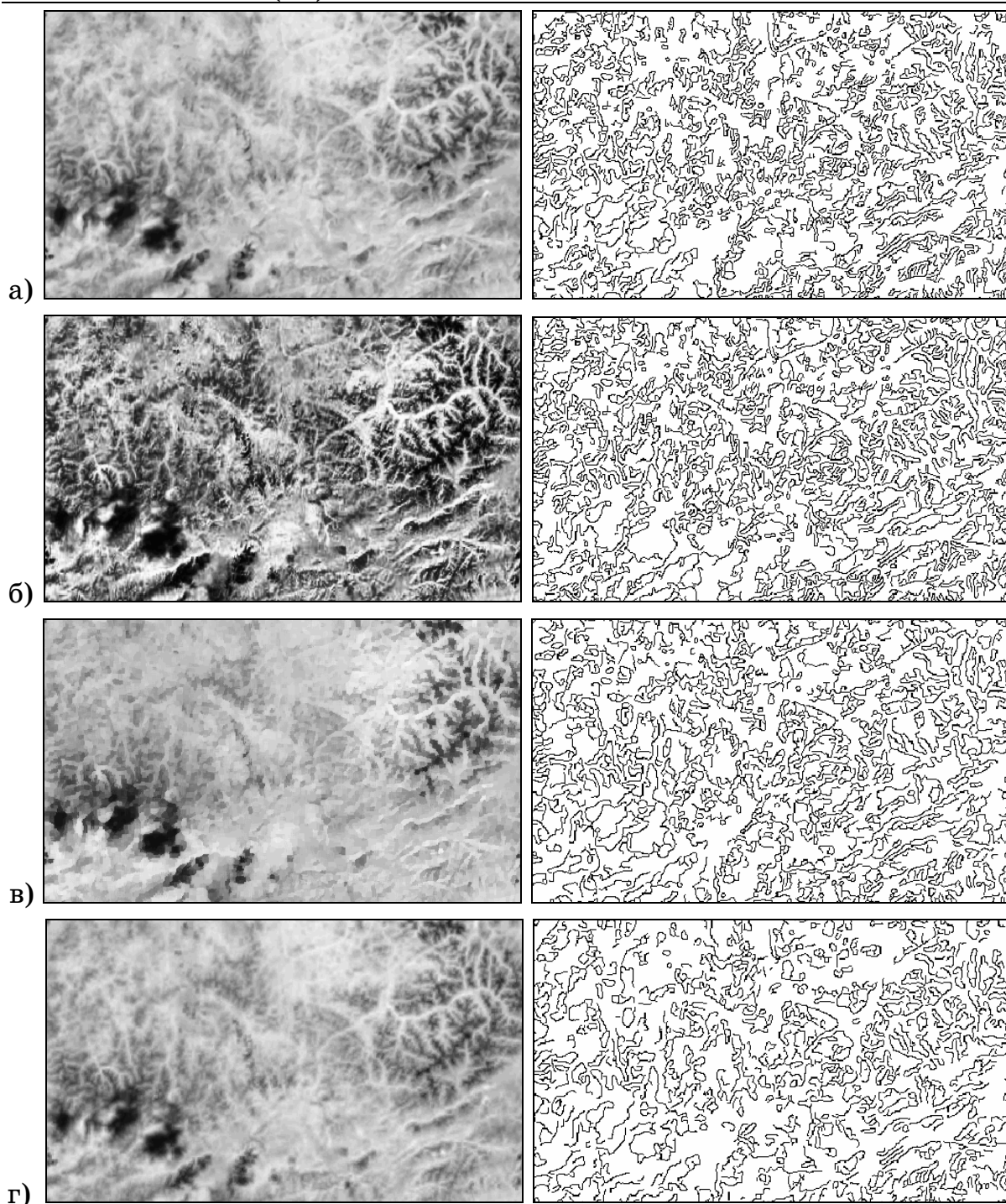


Рисунок 1 – Результаты обработки фрагмента снимка Забайкалья и соответствующие им бинарные карты границ яркости: а) исходное изображение; обработанные методами контрастно-ограниченного адаптивного выравнивания гистограммы (б), фильтра Кувахары (в), фильтра срединной точки (г)

Суммарные ранги показателей  $N$  и  $F$  для разных методов, проранжированные по возрастанию, представлены в таблице 4. Они позволили оценить эффективность применения каждого из 10 использованных методов предобработки изображений.

Подобные действия выполнялись также отдельно для снимков высокого и низкого разрешения; полученные результаты оказались сходными с приведенными в таблицах 2-4.

### **Анализ результатов и практические выводы**

Анализ полученных результатов, позволяет утверждать следующее:

1. Метод контрастно-ограниченного адаптивного выравнивания гистограммы, разностный метод и метод с использованием среднеквадратических отклонений интенсивности локальных окрестностей увеличивают значение показателя  $N$  по сравнению с исходным изображением. Это означает, что применение любого из этих методов позволяет увеличить количество выделяемых границ яркости на обработанном изображении по сравнению с исходным.

2. Как указывалось выше, повышение количества выявляемых границ ведёт к проявлению значительного количества мелких, несущественных деталей, – коротких, прерывистых фрагментов границ, – существенно затрудняющих решение многих практических задач. Поэтому большое значение имеет значение показателя  $F$ , которое является своеобразной мерой целостности получаемых границ. Низкие значения  $F$  свидетельствуют о том, что выделенные границы яркости являются целостными, протяженными, уверенно выделяемыми.

3. С точки зрения практического использования, лучшие результаты могут быть достигнуты при использовании таких методов обработки, которые обеспечивают выделение большего количества границ (повышение значения  $N$ ), по сравнению с необработанным снимком, но выделяемые границы должны быть протяжёнными, целостными (снижение значения  $F$ ).

Таблица 2

Ранги показателя N для используемых космических снимков

Методы обработки изображений:	Афганистан	Фрагмент территории Забайкалья	Месторождение Замитан (Узбекистан)	Месторождение Замитан (Узбекистан)	Фрагмент территории Китая	Сельхозугодья, Украина	Фрагмент территории Мексика	Фрагмент территории Норвегия	Фрагмент территории Перу	Месторождение Султаничак (Узбекистан)	Фрагмент территории Тибета	Фрагмент территории Финляндия	Фрагмент территории Шотландия	Фрагмент территории Австралия	Понгайский метеоритный кратер	Фрагмент о. Суматра	Фрагмент территории Марокко	Дождевой лес, Малайзия	Фрагмент территории Азия	Центральные Карпаты	Суммарный ранг
Исходное изображение	8	8	6	8	8	6	8	9	10	7	9	8	9	9	6	6	10	9	6	7	158
Фильтр усеченного среднего	3	3	5	5	4	3	3	5	3	4	3	3	3	4	2	2	1	3	4	2	68
Контрастно-ограниченное адаптивное выравнивание гистограммы	4	11	11	11	11	11	7	10	9	10	10	11	6	11	11	9	4	6	10	11	184
Среднеконтрастмоничский фильтр	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	4	2	4	2	1	3	2	2	3	47
Фильтр Кувахары	6	5	4	4	6	4	6	6	5	6	5	5	5	2	1	4	7	5	9	1	93
Метод Люси-Ричардса	9	7	7	7	9	7	10	7	7	8	7	6	7	7	7	7	8	10	7	8	151
Метод нечеткого маскирования	7	6	9	9	3	9	5	1	9	5	6	10	10	1	6	11	6	7	5	9	131
Метод среднеквадратических отклонений интенсивности	11	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	9	11	10	10	10	11	8	11	6	202
Разностный метод	10	8	8	8	7	8	9	8	8	9	8	7	8	8	8	8	9	11	8	10	167
Фильтр средней точки	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	3	3	2	1	1	5	33
Линейный фильтр Винера	5	5	3	3	5	5	4	4	4	3	4	2	4	9	5	5	5	4	3	4	87



Таблица 3

Ранги показателя F для используемых космических снимков

Методы обработки изображений:	Фрагмент территории Афганистана	Фрагмент территории Забайкалья	Месторождение Замптан (Узбекистан)	Месторождение Зматлин (Узбекистан)	Фрагмент территории Китая	Сельхозугодья, Украина	Фрагмент территории Мексики	Фрагмент территории Норвегии	Фрагмент территории Перу	Месторождение Султаныздаг (Узбекистан)	Фрагмент территории Тибета	Фрагмент территории Финляндии	Фрагмент территории Шотландии	Фрагмент территории Австралии	Попытский метеоритный кратер	Фрагмент о.Суматра	Фрагмент территории Марокко	Дождевой лес, Малайзия	Фрагмент территории Азии	Центральные Карпаты	Суммарный ранг
Исходное изображение	10	11	9	8	10	7	8	10	11	8	10	10	10	8	8	8	9	8	9	8	180
Фильтр усеченного среднего	3	3	4	5	5	1	2	4	5	6	6	3	4	2	6	2	1	2	5	2	71
Контрастно-ограниченное адаптивное выравнивание гистограммы	4	5	10	7	6	6	7	7	6	3	5	7	5	11	5	7	4	5	3	6	119
Среднеконтрастномический фильтр	2	2	6	6	4	4	4	5	3	4	3	5	3	5	3	4	2	4	2	3	74
Фильтр Кувахары	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	5	1	1	1	28
Метод Люси-Ричардса	8	9	7	9	11	9	10	8	9	9	8	8	8	9	9	9	10	9	10	9	178
Метод нечеткого маскирования	6	4	1	2	1	5	3	2	2	2	2	6	7	3	1	11	7	7	6	7	85
Метод среднеквадратических отклонений интенсивности	11	8	11	11	9	11	11	11	8	11	11	11	11	7	10	6	8	11	8	11	196
Разностный метод	9	10	8	10	8	10	9	9	10	10	9	9	9	10	11	10	11	10	11	10	193
Фильтр средней точки	7	7	5	3	7	8	6	6	4	7	7	4	6	4	7	5	3	6	7	5	114
Линейный фильтр Винера	5	6	3	4	3	3	5	3	7	5	4	2	2	6	4	3	6	3	4	4	82

Сводная таблица показателей качества выделения границ после применения различных методов предобработки снимков

Метод обработки изображений	Суммарные ранги	
	N	F
Фильтр Кувахары	93	28
Фильтр усеченного среднего	68	71
Среднеконтргармонический фильтр	47	74
Линейный фильтр Винера	87	82
Метод нечеткого маскирования	131	85
Фильтр срединной точки	33	114
<b>Контрастно-ограниченное адаптивное выравнивание гистограммы</b>	<b>184</b>	<b>119</b>
Метод Люси-Ричардсона	151	178
<b>Исходное изображение</b>	<b>158</b>	<b>180</b>
Разностный метод	167	193
Метод с использованием среднеквадратических отклонений интенсивности пикселей локальных окрестностей	202	196

Таким образом, особую важность имеют методы обработки изображений, которые повышают значение параметра N при одновременном снижении F. Как видно из таблицы 4, единственным методом, повышающим N при одновременном снижении F, является контрастно-ограниченное адаптивное выравнивание гистограммы.

Данный метод рекомендуется применять к космическим снимкам перед выделением границ с помощью оптимального детектора Кенни или других масочных алгоритмов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Canny J.F. A computational approach to edge detection / J.F. Canny // IEEE ТРАМІ. – 1986. – N 8(6). – P. 679-698
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р.Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Пивняк Г.Г. ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных. / Г.Г.Пивняк, Б.С.Бусыгин, С.Л.Никулин// Доп. Нац. акад. наук України. – 2007. – N6. – С.121-128.
4. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б.Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB //Р.Гонсалес, Р.Вудс, С.Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
6. Zuiderveld K. Contrast limited adaptive histogram equalization / Karel Zuiderveld// in book: Graphics gems IV. – Academic Press Professional, Inc. – 1994. – pp. 474-485