

# Определение характеристик морского волнения по цифровым фотографиям

М.Т. Смирнов, Д.М. Ермаков

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники РАН,  
141190 г. Фрязино, Московской обл., пл. Введенского, 1  
E-mail: [smirnov@ire.rssi.ru](mailto:smirnov@ire.rssi.ru)*

Основная цель данной работы – исследование возможностей определения характеристик морского волнения по его цифровым фотографиям главным образом для задачи определения спектра морского волнения совместно с СВЧ радиометрическими измерениями. Анализ данных проводился для 3 спектральных каналов сформированных при помощи внутренних фильтров фотокамеры в пространстве sRGB. Для обработки фотографий использовался корреляционный и спектральный анализ изображений.

## Введение

Идея использования фотографий морской поверхности для исследования спектра морского волнения развивается давно. Наиболее развита теория формирования изображений в предположении внешнего диффузного освещения [1]. На практике это условие трудноосуществимо. Кроме того, имеется множество мешающих факторов влияющих на результаты съемок, поэтому нами ставилась цель не определения самого спектра волнения, а выделения набора характеристик спектра волнения которые могут быть идентифицированы или оценены по оптическим снимкам.

Современные цифровые фотокамеры обеспечивают высокое пространственное разрешение снимков и широкий динамический диапазон по яркости. Одной из основных задач работы было выделение набора параметров, которые могут быть определены по цифровым фотографиям и использованы при восстановлении параметров спектра волнения по СВЧ радиометрическим измерениям [2 - 4]. Специфической особенностью задачи при этом является необходимость исследования спектра волнения в области коротких длин волн (до 1 см и короче).

Нами экспериментально исследовались возможности использования цифровых фотографий при съемке с разной высоты от поверхности, под различными углами к поверхности, при различных условиях освещенности, различных скоростях и направлении ветра и др. Обработка данных велась при помощи корреляционного и спектрального анализ независимо по каждому из цветовых каналов R, G, B.

## Взаимосвязь изображений морской поверхности и характеристик спектра волнения

Видимое излучение, регистрируемое над взволнованной водной поверхностью в отсутствии солнечных бликов, состоит из двух основных компонент:

- 1) части солнечного излучения, диффузно рассеянного атмосферой в направлении поверхности и зеркально отраженного ей;
- 2) части солнечного излучения, вошедшего в водную толщу, обратно рассеянного в ней и вышедшего на поверхность в сторону наблюдения.

В зависимости от условий наблюдения и характеристик волнения относительные вклады этих компонент в регистрируемый сигнал могут существенно меняться. Излучение разных цветовых диапазонов проникает в водную толщу и рассеивается по-разному, что приводит к основной разнице в пространственных характеристиках изображений в различных цветовых каналах. Это обстоятельство и

было взято за основу при интерпретации данных съемок, поскольку фотографические измерения не калиброваны. Предполагалось, что не столько абсолютные значения, а именно различия в наблюдаемых пространственных характеристиках изображений в различных цветовых каналах могут служить характеристикой волнения. Кроме того, ставилась задача оценки интегральных характеристик спектра, которые менее подвержены случайным вариациям из-за мешающих факторов.

При диффузном внешнем освещении из работы [1] следует, что пространственный спектр волнения  $G(\lambda, k)$  в высокочастотной области можно аппроксимировать функцией  $G(\lambda, k) \approx A_\lambda k^{\gamma(\lambda)}$ , где  $A_\lambda$  и  $\gamma(\lambda)$  - параметры аппроксимации. При неоднородном освещении такое описание не применимо, но нами предполагалось, что формальная оценка параметра  $\gamma(\lambda)$  может быть использована в качестве параметра в пространстве признаков при классификации типов волнения.

В качестве одной из интегральных характеристик для предварительного анализа данных использовался также радиус корреляции изображений, оцениваемый в каждом из цветовых каналов. Соотношение радиусов корреляции, или другими словами оценок масштабов неоднородности изображений, может также характеризовать тип волнения.

Одной из существенных проблем при анализе снимков является малая яркость и малый динамический диапазон яркости в красном канале при низких углах солнца. Из-за этого часть фотографий оказались непригодными для такого рода анализа.

### Эксперименты

Съемка взволнованной морской поверхности проводилась во время комплексных экспедиций Геленджик 2004 и Кацевели 2005 [3, 4] с помощью цифровой фотокамеры Olympus 8080 WZ. Основные характеристики фотокамеры приведены в таблице 1. Фотографирование проводилось в первом случае с пирса, а во втором - с морской платформы с высоты 4 - 15 м от воды.

Наиболее полные и разнообразные данные получены в последнем эксперименте. Одной из особенностей этого эксперимента было то, что фотографии в каждой сессии съемки (с интервалом в 1-2 часа) последовательно делались с 2 высот: порядка 4 м и 15 м. Оценки пространственного разрешения снимков, сделанные по тестовым объектам, составили при этом примерно 1 мм и 4 мм соответственно.

Таблица 1. Основные характеристики цифровой фотокамеры

Фотокамера	Olympus 8080 WZ
ПЗС-матрица	2/3" (6.6 x 8.8 мм)
Объектив	широкоугольный (15 линз в 13 группах, 2 асферических эл., 3 ED линзы)
Фокусное расстояние	7.1 – 35.6 мм (эквивалентно 28 – 140 мм в 35-мм камере)
Формат файлов	RAW, TIFF, JPEG, поддержка Exif 2.2
Размер кадра, пиксел.	3264x2440
Память	1 ГГБ (~ 80 кадров в формате RAW)

### Обработка фотографий и предварительные результаты

Первым этапом обработки является корректное преобразование фотографий из формата RAW (ORF) в TIFF 16 бит таким образом, чтобы сохранить информативность, особенно в красном канале. Для упрощения спектрального анализа изображений, при допустимых геометрических искажениях, из полных снимков выделялись фрагменты стандартного размера 1024x1024.

Для обработки выделенных фрагментов разработаны специальные программы корреляционного и спектрального анализа данных независимо по каждому из цветовых каналов R, G, B. В принципе корреляционный и спектральный анализ взаимосвязаны, но оцениваемые параметры несут несколько различную информацию об интегральных характеристиках спектра волнения.

На рис. 1 приведены фрагменты фотографий типичных состояний морской поверхности при различной скорости ветра: от полного штиля (слева сверху) до сильного ветра с порывами (справа внизу). Справа сверху – рябь на спокойной поверхности, а слева внизу достаточно развитое волнение при ветре почти без порывов. Глаз человека позволяет легко классифицировать такие состояния поверхности. Одна из задач проводимой работы - формализовать и автоматизировать классификацию этих состояний.

Расчет автокорреляционных функций фрагментов изображений проводился для каждого цветового канала, каждого столбца и каждой строки независимо. Сравнение результатов оценок по строкам и столбцам проводилось для оценки однородности изображений. Расчет радиуса корреляции проводился двумя методами: по фиксированному порогу и по наклону корреляционной функции в области малых масштабов.

На рис. 2 представлен пример, иллюстрирующий типичные вариации автокорреляционных функций изображений по строкам и соответствующих оценок радиусов корреляции двумя методами. Наблюдаются довольно большие вариации в основном наклоне корреляционных функций при сохранении общей формы кривых. Оценки радиусов корреляции по строкам и столбцам отличаются не сильно.

На рис. 3 представлены оценки спектров яркости фрагментов изображений в трех цветовых каналах и результаты их аппроксимации степенной функцией. Аппроксимирующие степенные функции дают интегральную оценку характеристик наблюдаемого спектра яркостей.

На рис. 4 представлены кривые изменчивости оценок радиуса корреляции, а на рис. 5 графики изменчивости оценок параметра  $\gamma(\lambda)$  для различных цветовых каналов по серии фотографий примерно за 5 дней. Анализ их показывает, что наблюдаются вариации оцениваемых параметров, причем в различных условиях значения их в различных цветовых каналах могут быть близкими, а могут и существенно отличаться. В настоящее время проводятся работы по выбору конкретных статистических параметров для формирования пространства признаков для адекватной классификации типов волнения по фотографиям.

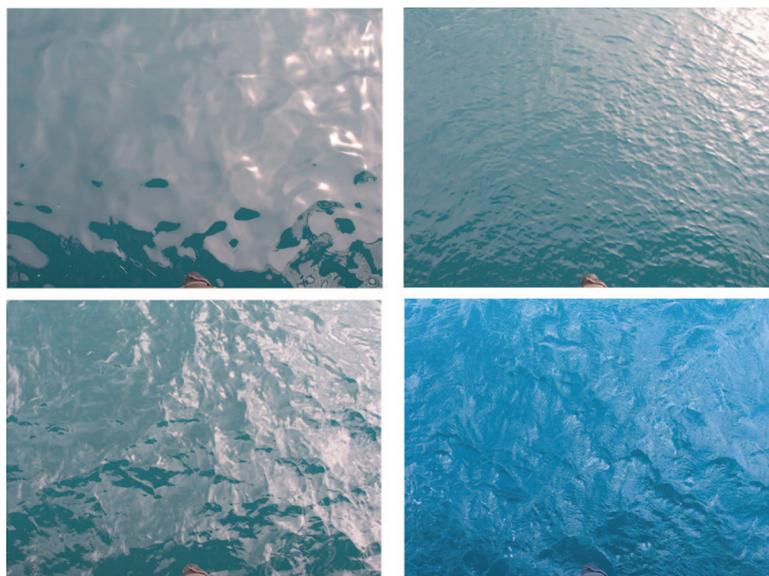


Рис. 1. Фрагменты фотографий типичных состояний морской поверхности

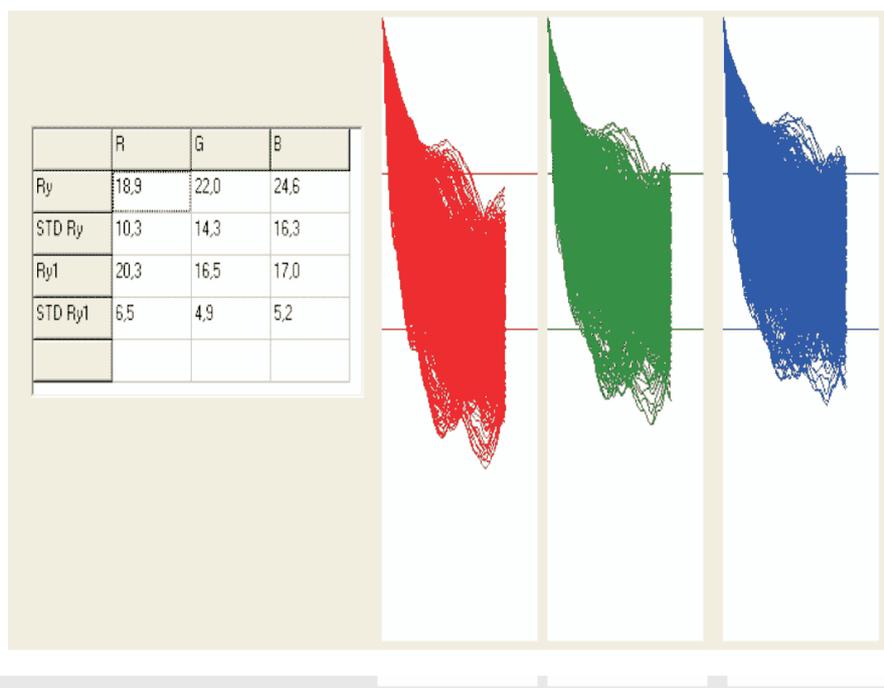


Рис. 2. Автокорреляционные функции (по строкам) фрагментов изображений, полученных при съемке в надир с высоты 15 м (верхний ярус)

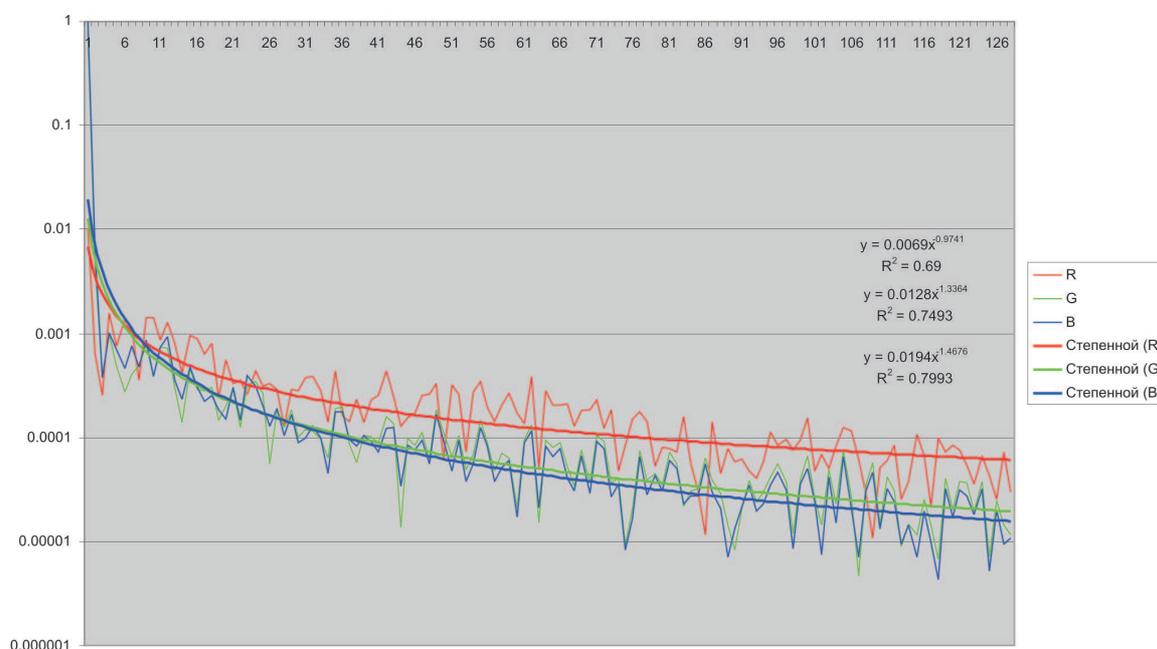


Рис. 3. Пример расчета спектров фрагмента изображения (верхний ярус) в 3 цветовых каналах и результаты аппроксимации степенной функцией

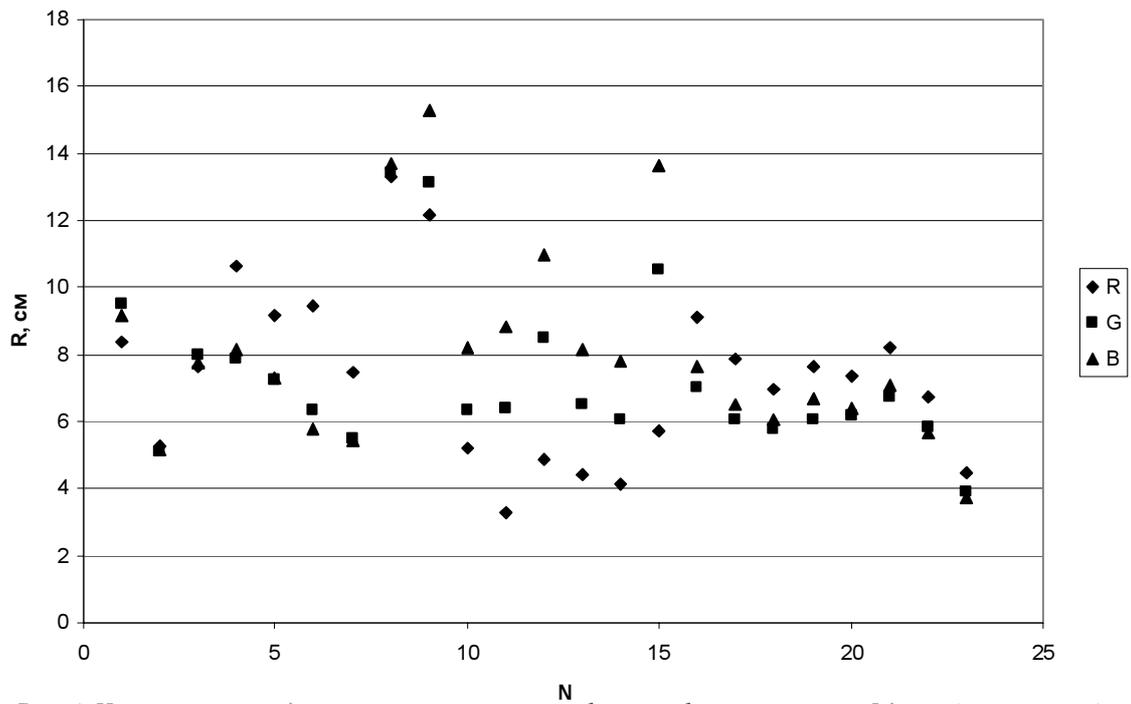


Рис. 4. Изменчивость радиуса корреляции по серии фотографий примерно за 5 дней, (верхний ярус)

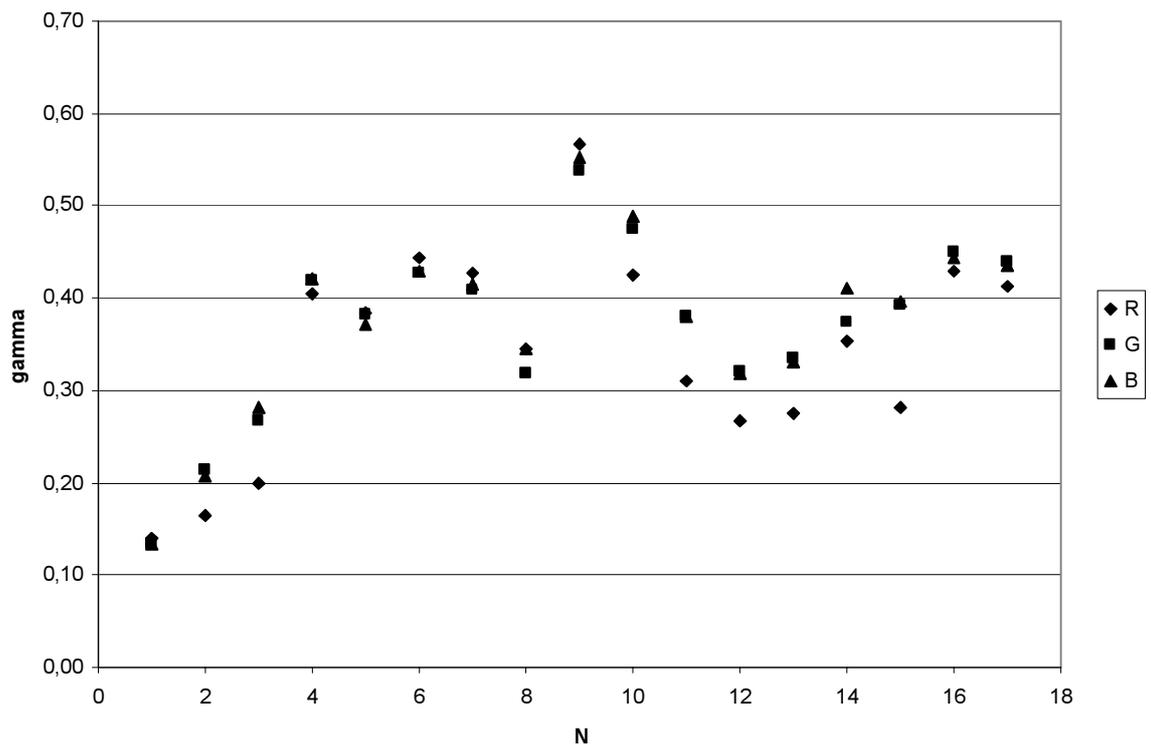


Рис. 5. Изменчивость параметра  $\gamma(\lambda)$  (верхний ярус), серия фотографий та же что и на рис. 4

Проводились также сравнения результатов фотографирования с высоты 4 и 15 м. Предварительные результаты анализа показывают, что, не смотря на более высокое пространственное разрешение, снимки с нижнего яруса в большинстве случаев труднее поддаются интерпретации.

## Выявленные проблемы, выводы и перспективы

### *Проблемы*

- Сильная зависимость оценок от условий внешнего освещения.
- Проблематично использовать снимки с яркими бликами.
- Требуется сформировать пространство параметров для адекватной классификации состояния волнения.
- Большой объем информации.

### *Выводы и перспективы*

- Современные цифровые фотокамеры обеспечивают достаточно высокое пространственное разрешение снимков и широкий динамический диапазон по яркости.
- Предварительный анализ результатов показал перспективность использования цифровых фотографий для классификации типов волнения и определения их характеристик.
- Обработка фотографий будет продолжена с целью сопоставления с результатами других синхронных измерений (СВЧ радиометрических данных, метео данных, данных волнографа, и др.).

Работа выполнена при поддержке гранта INTAS 03-51-4789.

## Литература

1. *Лучинин А.Г.* Об интерпретации спектров аэрофотографий морской поверхности // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1984. Т. 20. № 3. С. 331-334.
2. *Трохимовский Ю.Г., Кузьмин А.В. и др.* Исследования радиояростной температуры взволнованной поверхности моря в эксперименте "Геленджик'99" // Исслед. Земли из космоса, 2002. №3. С. 20-28.
3. *Кузьмин А.В., Поспелов М.Н., Садовский И.Н.* Микроволновые радиометрические исследования морской поверхности в прибрежной зоне Черного моря // Сборник статей. Москва, ГРАНП-Полиграф, 2005. С. 103-110.
4. *Ермаков Д.М., Смирнов М.Т.* Натурные исследования взволнованной морской поверхности совместными оптическими и СВЧ радиометрическими методами // Радиотехника и электроника, 2004. №4. С. 431 – 438.