

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 551.463

DOI 10.21685/2307-5538-2018-1-8

*Р. А. Эминов, М. М. Исмаилов, Х. Г. Асадов, К. Х. Исмаилов***МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ШУМОВОЙ
ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОТРАЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОЙ МОРСКОЙ ВОДЫ***R. A. Eminov, M. M. Ismailov, Kh. G. Asadov, K. Kh. Ismailov***METHOD FOR DECREASE OF IMPACT OF NOISY HYPER
SPECTRAL CHARACTERISTICS OF REFLECTION
OF POLLUTED SEA WATER**

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Высокая степень загрязненности морских вод в регионах морской нефтедобычи диктует необходимость проведения постоянного экологического контроля состояния моря. Контроль состояния морской воды осуществляется с помощью бортовой спектрорадиометрической аппаратуры, установленной на борту носителей, а для анализа полученных гиперспектральных данных широко используются методы производного анализа. При этом учитывается, что первая производная выделяет не только часть шумов, но и специфические спектральные черты изучаемого объекта.

Материалы и методы. Предложен метод, позволяющий оптимальным образом проводить предобработку гиперспектрального сигнала с помощью первой производной в случае преобладания в исходном измерительном сигнале шумовых составляющих.

Результаты. Преимущество предлагаемого метода заключается в возможности определения функции представления первой производной φ на основе вычисленной исходной спектральной характеристики оптимальной в смысле достижения экстремума условного информационного контента гиперспектральных данных. **Выводы.** Предлагаемый метод может быть использован в технике дистанционного зондирования состояния морских вод для уменьшения влияния шумовой составляющей гиперспектральных данных, получаемых с применением гиперспектральной аппаратуры.

A b s t r a c t. Background. The high level of pollution of sea waters in zones of sea oil production necessitates the carrying out of continual ecological control of sea waters condition. The control of sea waters condition is carried out by onboard spectroradiometric instruments installed on the board of carriers and for analysis of derived data the methods of derivative analysis is broadly used. In this method the feature taken into account is that the first derivative stresses out not only the part of noises, but also the specific spectral features of studied object. **Materials and methods.** The method making it possible to carry out the preprocessing of hyper spectral signal using the first derivative in condition where the noisy components of the initial measuring signal is prevalent has been suggested. **Results.** The peculiarity of suggested method is that it make possible to define the function of representation of first derivative on the basis of

computed initial spectral characteristics which is optimum on criterion achieving the extremum by conditional information content of hyperspectral data. **Conclusions.** The suggested method could be used in the technics of remote sensing of sea water condition to decrease the effect of noisy component of hyper spectral data obtained using the hyper spectral instruments.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гиперспектрометр, информация, производная характеристика, шумовые сигналы, дистанционное зондирование.

К e y w o r d s: hyper spectrometer, information, derivative characteristic, noisy signal, remote sensing.

Хорошо известно, что морские воды в регионах морской нефтедобычи значительно загрязнены углеводородами, что диктует необходимость проведения постоянного контроля состояния поверхностного слоя моря. Дистанционный контроль состояния морской воды может быть осуществлен с помощью спектрорадиометрической аппаратуры, установленной на борту носителей. При этом для анализа гиперспектральных данных, полученных из измерителей, широко используются методы производного анализа. Как отмечено в работе [1], спектральные производные характеризуют форму спектра и поэтому могут быть использованы для выявления спектральных свойств и деталей. Производная первого порядка спектра $L(\lambda)$ определяется как

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} \approx \frac{L(\lambda_j) - L(\lambda_i)}{\Delta \lambda}, \quad (1)$$

где $\Delta \lambda = \lambda_j - \lambda_i$; $\lambda_j > \lambda_i$.

Вторая производная определяется как

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \lambda^2} \approx \frac{L(\lambda_k) - 2L(\lambda_j) + L(\lambda_i)}{\Delta \lambda^2}, \quad (2)$$

где $\Delta \lambda = \lambda_k - \lambda_j$; $\lambda_k > \lambda_j > \lambda_i$.

Как указывается в работе [2], анализ спектральных сигнатур гиперспектральных изображений в основном используется для классификации земельного покрытия. При этом производные спектральной характеристики наименее чувствительны к изменению освещенности объекта в дистанционном зондировании.

Согласно работе [3], использование методов производной спектроскопии может усилить абсорбционные свойства отражательного спектра. При том появляется возможность проведения как качественного, так и количественного анализа.

Как отмечается в работе [4], правильная идентификация сигнатурных диапазонов длин волн важна не только для геопространственной характеристики специфических свойств объекта исследования, но и для проведения предобработки гиперспектральных данных.

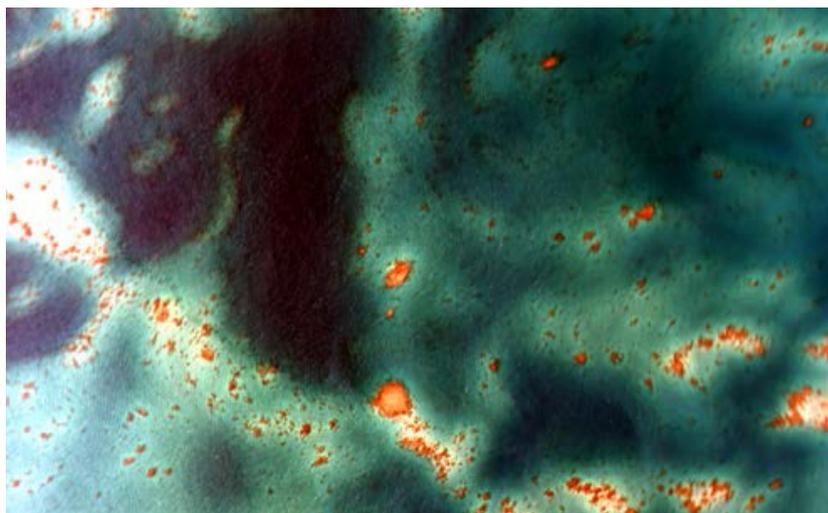
Согласно работе [4] сигнатурные диапазоны длин волн могут быть выделены с помощью двух фундаментальных групп методов:

- а) необучаемые методы;
- б) обучаемые методы.

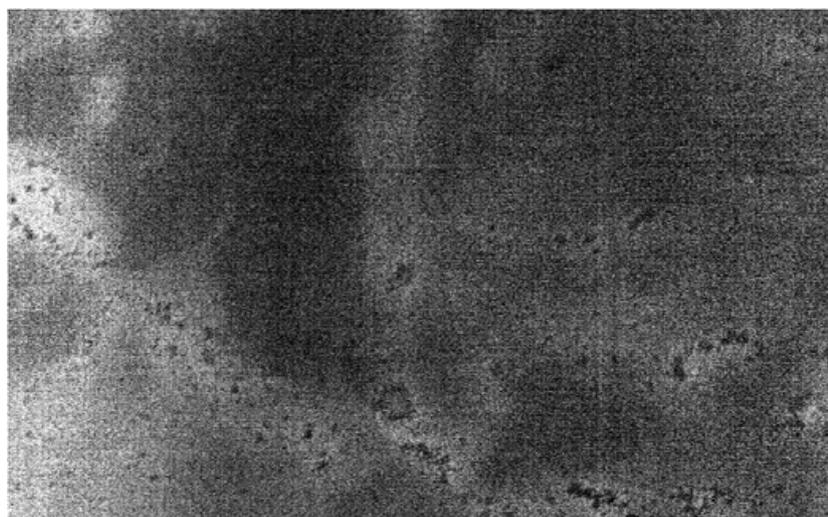
Необучаемые методы не зависят от сферы их применения и включают такие способы, как измерение информационной энтропии и метод производных. Обучаемые методы используют дополнительные базовые данные и включают такие способы, как метод главных компонент, метод искусственный нейронных сетей и др. Следовательно, данные методы не требуют предварительной обработки изображений.

Как отмечается в работе [5], производные спектральной характеристики позволяют удалить как аддитивные, так и мультипликативные воздействия на спектр. Известны такие методы вычисления производных, как метод Норриса – Уильямса, метод Савитского – Голея, комбинированные методы [5].

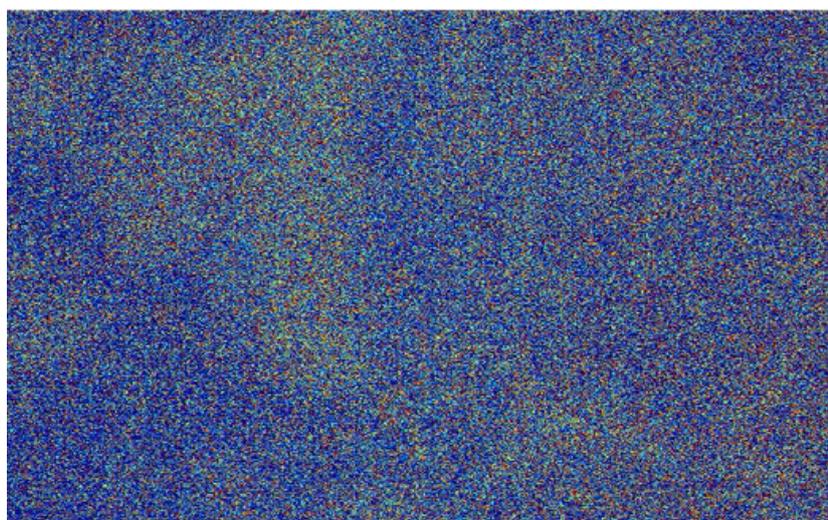
В качестве примера на рис. 1, а–в приведены изображения Красного моря, полученные с помощью «СпекTIR».



a)



б)



в)

Рис. 1. Изображения Красного моря: *a* – изображение из трех длин волн (640, 551 и 461 нм);
б – изображение первой производной между каналами 3 и 4;
в – изображение второй производной на длине волны 545 нм

Как видно из изображений, приведенных на рис. 1, а–в, первая производная показывает не только часть шумов, но и специфические спектральные черты изучаемого объекта. Такое свойство первой производной также отмечается в работе [6]. Следовательно, должен быть выработан метод, позволяющий оптимальным образом проводить предобработку гиперспектрального сигнала с помощью первой производной. Далее в настоящей статье предлагается метод оптимальной предобработки гиперспектральных данных, включающий следующие положения:

1) формирование информационного критерия M_1 – условного информационного контента гиперспектральных данных, определяемого как

$$M_1 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k_1(\lambda - \lambda_1) \log_2 [L(\lambda)k_2] d\lambda; \quad (3)$$

2) формирование первой производной спектральной характеристики и функции ее представления ϕ

$$\phi = \phi[L'(\lambda)], \quad (4)$$

где $L'(\lambda)$ – первая производная спектра.

С учетом выражений (3) и (4) получаем

$$M_2 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k_1(\lambda - \lambda_1) \log_2 [k_2(L(\lambda) + \phi[L'(\lambda)])] d\lambda, \quad (5)$$

где $k_1 = \text{const} = \Delta\lambda$; λ_1, λ_2 – границы интегрирования в (3) и (5); $k_2 = \text{const} = \Delta L$.

Отметим, что интегранты в функционалах (3) и (5) сформированы на базе известного определения количества информации

$$M_0 = \frac{\lambda - \lambda_1}{\Delta\lambda} \log_2 \frac{L(\lambda)}{\Delta L} \quad (6)$$

для случая $\frac{L(\lambda)}{\Delta L} \gg 1$;

3) нахождение при исходно заданной функции ϕ оптимальных функций $L(\lambda)$ и $L'(\lambda)$, при которых M_2 достиг бы минимума, т.е. ставится задача нахождения такой функции $L(\lambda)$, при функции представления ϕ которой прирост информативности из-за шумов был бы минимальным. В качестве примера рассмотрим задачу определения оптимальной функции $L(\lambda)$ при функции ϕ в виде возведения в квадрат, т.е. будем рассматривать функционал

$$M_3 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k_1(\lambda - \lambda_1) \log_2 [k_2(L(\lambda) + L'(\lambda)^2)] d\lambda. \quad (7)$$

Хорошо известно, что решение оптимизационной задачи (7) должно удовлетворить условию уравнения Эйлера – Лагранжа, т.е. уравнения [7]

$$\frac{\partial F}{\partial L(\lambda)} - \frac{dF}{d\lambda} \left(\frac{\partial F}{\partial L'(\lambda)} \right) = 0. \quad (8)$$

Из выражений (7) и (8) получим

$$\frac{k_1(\lambda - \lambda_1)k_2}{k_2(L(\lambda) + L'(\lambda)^2) \ln 2} - \frac{dF}{d\lambda} \left(\frac{2k_1(\lambda - \lambda_1)k_2 L'(\lambda)}{(L(\lambda) + L'(\lambda)^2) \ln 2} \right) = 0. \quad (9)$$

Из выражения (9) находим

$$(\lambda - \lambda_1) - 2k_2 L'(\lambda) = 0. \quad (10)$$

Из выражения (10) имеем

$$L'(\lambda) = \frac{\lambda - \lambda_1}{2k_2}. \quad (11)$$

Дифференциальное уравнение (11) имеет решение

$$L(\lambda) = \frac{\lambda^2}{4k_2} - \frac{\lambda\lambda_1}{2k_2}. \quad (12)$$

Исследуем (12) на экстремум от λ

$$\frac{dL(\lambda)}{d\lambda} = \frac{2\lambda}{4k_2} - \frac{\lambda_1}{2k_2} = 0.$$

Следовательно, при $\lambda_1 = \lambda$, $L(\lambda)$ достигает минимума, где $\frac{dL(\lambda)}{d\lambda} = 0$.

Практическая польза предложенного метода анализа гиперспектральных данных заключается в возможности исходного произвольного выбора функции представления первой производной φ и однозначного вычисления функции $L(\lambda)$, оптимального в смысле минимума условного информационного контента гиперспектральных данных. Предлагаемый метод может быть использован в технике дистанционного зондирования состояния морских вод для минимизации влияния шумовой составляющей гиперспектральных данных, получаемых с применением гиперспектральной аппаратуры.

Библиографический список

1. Tsai, F. A derivative aided hyperspectral image analysis system for land cover classification / F. Tsai, W. D. Philpot // IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing. – 2002. – Vol. 40, № 2. – P. 416–424.
2. Hyperspectral image classification of grass species in northeast Japan / S. T. Monteiro, K. Uto, Y. Kosugi, K. Oda, Y. Lino, G. Saito // IGARSS. – 2008. – P. 399–402.
3. Derivative analysis of absorption features in hyperspectral remote sensing data of carbonate sediments / E. M. Louchard, R. P. Reid, C. F. Stephens, C. O. Davis, R. A. Leathers, T. V. Dowles, R. Maffione // Optics Express. – 2002. – Vol. 10, № 26. – P. 1574–1584.
4. Bajwa, S. G. Hyperspectral image Data, Mining for Band Selection in Agricultural Applications / S. G. Bajwa, P. Bajcsy, P. Groves, L. F. Tian // Transactions of the ASAE. – 2004. – Vol. 47(3). – P. 895–907.
5. Rinnan, A. Review of the most common pre – processing techniques for near – infrared spectra / A. Rinnan, F. Berg, S. B. Engelsen // Trends in Analytical Chemistry. – 2009. – Vol. 28, № 10. – P. 1201–1222.
6. Cerra, D. Unmixing-based denoising as a pre-processing step for coral reef analysis / D. Cerra, D. Traganos, P. Gege, P. Reinartz // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Hannover Workshop. – Hannover, Germany, 2017. – Vol. XLII-1/W1.
7. Эльсгольц, Л. Е. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Л. Е. Эльсгольц. – М. : Наука, 1974. – С. 434.

Эминов Рамиз Ахмед оглы

кандидат технических наук, доцент,
кафедра транспортировки и хранения нефти и газа,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
(Азербайджан, г. Баку, пр. Азадыг, 20)
E-mail: Eminov.ramiz@mail.ru

Eminov Ramiz Akhmed ogly

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of transportation
and storage of oil and gas,
Azerbaijan State University of Oil and Industry
(20 Azadlig avenue, Baku, Azerbaijan)

Исмаилов Магеррам Магомед оглы

аспирант,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
(Азербайджан, г. Баку, пр. Азадлыг, 20)
E-mail: ismailovmm@mail.ru

Ismailov Magerram Magomed ogly

postgraduate student,
Azerbaijan State University of Oil and Industry
(20 Azadlig avenue, Baku, Azerbaijan)

Асадов Хикмет Гамид оглы

доктор технических наук, профессор,
начальник отдела НИИ Аэрокосмической
информатики,
Национальное аэрокосмическое агентство
(Азербайджан, г. Баку, ул. С. С. Ахундова, 1)
E-mail: asadzade@rambler.ru

Asadov Hikmat Hamid ogly

doctor of technical sciences, professor,
head of department of research institute
of aerospace informatics,
National Aerospace Agency
(1 S.S. Akhundov street, Baku, Azerbaijan)

Исмаилов Камал Хейраддин оглы

доктор технических наук, доцент,
Национальная академия авиации,
(Азербайджан, г. Баку, пос. Бина, 25-й км)
E-mail: kamal.ismaylov@mail.ru

Ismailov Kamal Kheyreddin ogly

doctor of technical sciences, associate professor,
National Academy of Aviation
(25-th km, Bina, Baku, Azerbaijan)

УДК 551.463

Эминов, Р. А.

Метод уменьшения влияния шумовой гиперспектральной характеристики отражения загрязненной морской воды / Р. А. Эминов, М. М. Исмаилов, Х. Г. Асадов, К. Х. Исмаилов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 1 (23). – С. 51–56. DOI 10.21685/2307-5538-2018-1-8.