

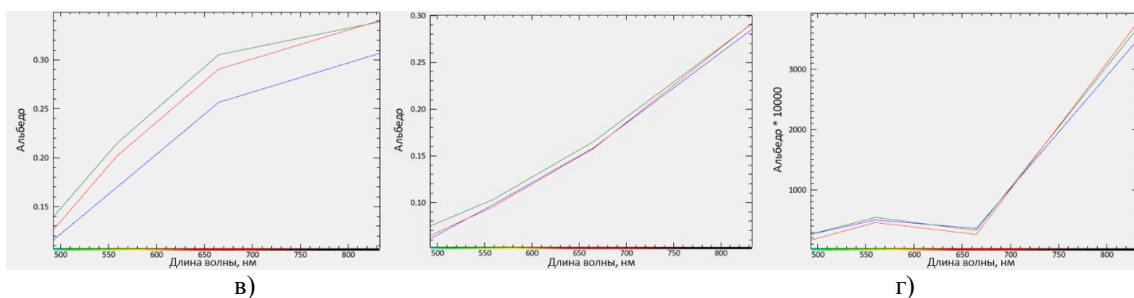
АТМОСФЕРНАЯ КОРРЕКЦИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко», БГУ, Минск, Республика Беларусь

В работе приведены результаты атмосферной коррекции мультиспектральных космических изображений спутникового сенсора Sentinel-2 с использованием модуля FLAASH программного комплекса (ПК) ENVI и разработанного метода CAT. Спектральные значения альbedo поверхности, восстановленные по методами CAT, FLAASH, сравниваются с данными Sen2Cor, принятыми условно за эталонные. На основе проведенных сравнений предлагаются способы модификации метода CAT для корректного восстановления аэрозольной оптической толщины атмосферы.

Метод CAT (Correction of ATmosphere) [1] разработан для мультиспектральных спутниковых данных с небольшим количеством относительно широких спектральных каналов и основан на аналитических формулах, описывающих с достаточно высокой точностью спектр уходящего излучения на верхней границе безоблачной атмосферы. Метод CAT включает модель атмосферы и ее оптико-физические параметры, которые существенны с точки зрения переноса излучения, атмосфера считается однородной в пределах изображения. Отличительной особенностью метода CAT является отсутствие необходимости априорного задания каких-либо параметров атмосферы или подстилающей поверхности. При заданной геометрии съемки вся необходимая информация извлекается непосредственно из корректируемых изображений. В настоящей модификации метод применяется для каналов спектрального диапазона 400 – 1100 нм.

Для оценки корректности работы метода было произведено сравнение его результатов с результатами атмосферной коррекции по известным методам Sen2Cor и FLAASH (ПК ENVI) [2]. Для сравнительного исследования методов использовались изображения спутникового сенсора Sentinel-2 с разрешением 10 м на территорию полигонов, входящих в состав сети RadCalNet [3]: два изображения полигона LaCrau, расположенного во Франции, и одно изображение полигона Baotou, расположенного в Китае. Сравнение методов производилось относительно «опорного» метода Sen2Cor, так как данный метод разработан и реализован поставщиком данных Sentinel-2, данные которого использовались в работе. На рисунке 1 показаны примеры альbedo для трех различных подстилающих поверхностей, восстановленные указанными тремя методами.



Красная линия – FLAASH; Зеленая линия – level-2a; Синяя линия – CAT
 а) – песок, baotou-20220811; б) – поле, laCrau-20210616; в) – зелень, laCrau-20210616
 Рисунок 1 – Альbedo разных типов поверхностей пикселей изображений

Из сравнения результатов можно сделать вывод, что метод CAT несколько хуже восстанавливает альbedo светлых поверхностей и значения аэрозольной оптической толщины.

Секция 5. Аэрокосмические исследования и технологии ДЗЗ

Для наглядного представления сравниваемых пространственных распределений альbedo вычислялись линейные корреляции альbedo, полученных двумя методами, на основе линейного уравнения регрессии с коэффициентами k и b вида:

$$y = kx + b$$

где y – альbedo по Sen2Corr; x – альbedo по сравниваемому методу.

Коэффициент b в уравнении линейной корреляции оказался близким к нулю, поэтому им можно пренебречь. В таблице 2 приведены значения коэффициента k для метода FLAASH и CAT, соответственно, для трех рассматриваемых сцен изображений Sentinel -2.

Таблица 2

Значения коэффициента k для трех сцен в методах FLAASH и CAT

Канал	baotou-20220811	lacrau-20210616	lacrau-20220911	baotou-20220811	lacrau-20210616	lacrau-20220911
	метод FLAASH			метод CAT		
B2	1.1	0.944	0.854	2.643	1.282	1.123
B3	1.081	1.022	0.886	2.224	1.298	1.111
B4	1.068	1.017	0.91	1.777	1.152	1.071
B8	0.961	0.974	0.914	1.252	1.026	1.1

Из средних значений коэффициента k можно заключить, что метод FLAASH восстанавливает альbedo каналов с разрешением 10 м с точностью в среднем не хуже 10%. В то же время, в методе CAT особенно большие смещения оценки имеют место для сцены baotou-20220811, что может объясняться некорректным заданием параметров модели атмосферы для этой сцены, которые считаются известными (и такими же, как для других сцен), неизвестными являются только три параметра атмосферы. Жестким заданием ряда параметров атмосферы в методе CAT объясняется в среднем невысокая точность восстановления альbedo. Предлагаются следующие пути модификации метода:

– иной выбор начального пикселя. Вместо «темного» с постоянным по спектру альbedo пикселя предлагается задавать альbedo выбираемого пикселя как:

$$\rho_0 = \rho_{\lambda_1} + \frac{\rho_{\lambda_2} - \rho_{\lambda_1}}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda - \lambda_1)$$

– включение учета пропускания водяного пара как:

$$T_{H_2O}^{\lambda}(m_{H_2O}) = a_{H_2O}(\lambda) \ln(m_{H_2O}) + b_{H_2O}(\lambda)$$

где $a_{H_2O}(\lambda)$, $b_{H_2O}(\lambda)$ – заранее рассчитанные константы для каждой длины волны, m_{H_2O} – масса водяного пара в столбе атмосферы.

Затем существующий алгоритм метода атмосферной коррекции используется в качестве первой итерации для нахождения альbedo поверхности. Затем вычисляется разность спектров (СПЭЯ) двух выбранных контрастных пикселей, теоретическое выражение для которой является наиболее точным, поскольку не содержит вклада атмосферной дымки. По полученной разности при известных альbedo двух пикселе вычисляются уточненные значения параметров атмосферы, включая аэрозольную оптическую толщину, и следующей итерацией вычисляются новые значения альbedo поверхности по найденным параметрам атмосферы. Предполагается, что такая модификация метода CAT позволит более точно восстанавливать параметры атмосферы и, в частности, АОТ.

Список литературы

1. Катковский Л. В. Атмосферная коррекция многоспектральных спутниковых изображений // Український журнал дистанційного зондування Землі. – 2020. – № 25. – С. 9–16.
2. FLAASH Background. – URL: <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/backgroundflaash.html> (дата обращения 16.02.2023).
3. Radiometric Calibration Network portal. – URL: <https://www.radcalnet.org/#/> (дата обращения 06.02.2023).