

АЛГОРИТМ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем
имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета.
Минск, Республика Беларусь. remsens@mail.ru

В работе описан алгоритм атмосферной коррекции гиперспектральных изображений, основанный на программе расчета переноса солнечного излучения LibRadTran для решения прямой задачи переноса излучения. Представляются результаты атмосферной коррекции данным методом изображений, полученных гиперспектрометрами AVIRIS и Hyperion. Проводятся сравнения результатов атмосферной коррекции описываемым методом и с использованием модуля FLAASH программы ENVI.

Атмосферная коррекция изображений и спектров, регистрируемых с борта авиакосмических носителей, является необходимым этапом подготовки данных для дальнейшей их тематической обработки.

Разрабатываемый метод использует преимущества 2-х основных подходов к атмосферной коррекции (эмпирических методов и методов, основанных на точных моделях переноса излучения), используя численное решение прямой задачи переноса излучения и информацию, извлекаемую непосредственно из регистрируемых гиперспектральных данных. Для оценки коэффициента спектральной яркости (КСЯ) поверхности Земли используем следующее выражение, полученное на основе представления решения уравнения переноса в виде вклада отдельных компонент излучения в атмосфере [1,2].

$$\rho(x, y, \lambda) = \frac{(L_{\lambda}^s - L_{\lambda}^{sp})}{\tau_v(\lambda)E_{\lambda}^0} \{ \tau_s(\lambda)E_{\lambda}^0 \cos[\theta(x, y)] + F(x, y)E_{\lambda}^a \} \pi, \quad (1)$$

где L_{λ}^s – спектральная плотность энергетической яркости, фиксируемая сенсором; L_{λ}^{sp} – рассеянное падающее излучение, которое распространяется вверх, не достигая поверхности Земли; ρ – диффузный КСЯ; E_{λ}^0 – освещенность на верхней границе атмосферы, τ_s и τ_v – пропускания атмосферы на пути к земле и на пути к датчику соответственно, θ – угол падения солнечного излучения, $F(x, y)$ – топографический коэффициент, который зависит от угла наклона рельефа поверхности σ_F ($F(x, y) = 1 - \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2} - \sigma_F)$).

Компоненты уравнения рассчитываются с помощью программы переноса излучения LibRadTran.

Основная проблема восстановления спектрального альbedo (равного КСЯ при изотропном отражении) поверхности заключается в том, что для расчёта компонентов уравнения (1), необходима информация о самом альbedo, рельефе и параметрах атмосферы (высотный профиль распределения газов и аэрозоля в атмосфере, тип и содержание аэрозоля и др.). Поэтому был проведен анализ влияния различных вышеупомянутых параметров атмосферы и поверхности Земли на регистрируемую спутниковым прибором спектральную плотность энергетической яркости (СПЭЯ).

Для решения этой задачи были построены графики СПЭЯ от различных параметров: оптической толщины аэрозоля на длине волны 550 нм, типа аэрозоля, давления у поверхности и типа поверхности (рисунок 1). Из графиков следует, что наибольшее влияние на СПЭЯ оказывает тип поверхности, т.е. значение альbedo. Значительное, но меньшее влияние оказывает оптическая толщина аэрозоля. Ввиду этого на первом этапе проводится предварительное оценивание альbedo поверхности без учета параметров аэрозоля.

Сделаем это следующим образом. На гиперспектральном изображении, покрывающем большую территорию, найдем «типичные» поверхности с небольшим альbedo, например

водную поверхность. Для этого можно посчитать спектральное расстояние или спектральную корреляцию между пикселями гиперспектрального изображения и «типичным» спектром воды из спектральной библиотеки. К выбранному «темному» пикселю применяем уравнение 1 с некоторым постоянным по длине волны значением альбеда поверхности, равным, например 0,03. Значение альбеда, полученное данным способом, является первым приближением описываемого метода. После того, как получено первое приближение для альбеда, можно оценить аэрозольные компоненты, такие как оптическая толщина и тип аэрозоля, используя метод наименьших квадратов вида (2):

$$(L_{\lambda}^s(model) - L_{\lambda}^s(real))^2 \rightarrow min, \quad (2)$$

где $L_{\lambda}^s(model)$ – СПЭЯ, рассчитываемая с помощью модели переноса излучения LibRadTran, $L_{\lambda}^s(real)$ – СПЭЯ пикселя гиперспектрального изображения. Применяя к $L_{\lambda}^s(real)$ уравнение (1) с восстановленными параметрами аэрозоля, получаем следующее приближение альбеда, которое опять будет использоваться при оценке оптической толщины аэрозоля.

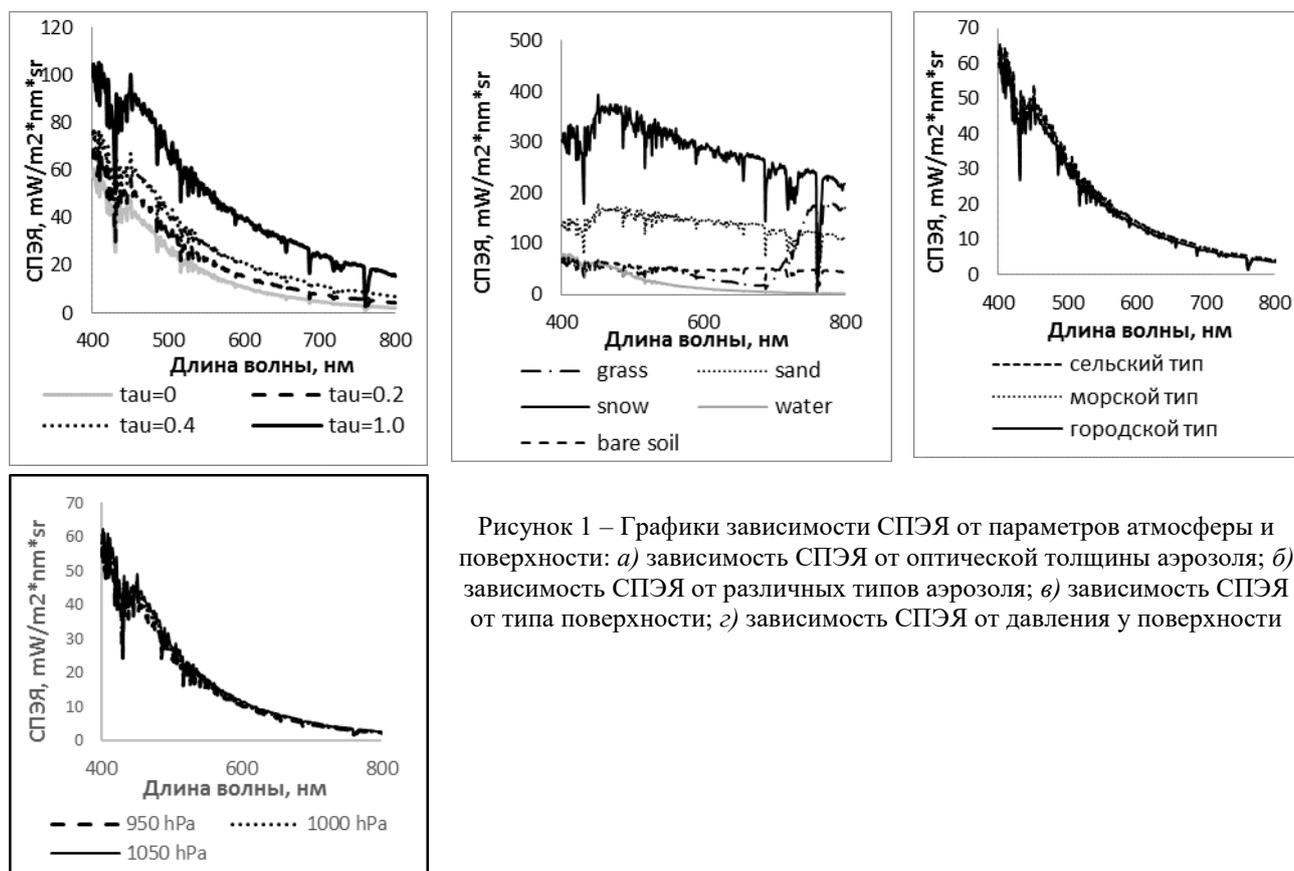


Рисунок 1 – Графики зависимости СПЭЯ от параметров атмосферы и поверхности: а) зависимость СПЭЯ от оптической толщины аэрозоля; б) зависимость СПЭЯ от различных типов аэрозоля; в) зависимость СПЭЯ от типа поверхности; г) зависимость СПЭЯ от давления у поверхности

При работе с гиперспектральным изображением, компоненты излучения и параметры уравнения (1), относящиеся к атмосфере, полученные для одной точки изображения распространяются на другие точки, т.к. атмосферу можно считать однородной в широких пределах.

Атмосферная коррекция описанным методом проведена для снимка, полученного гиперспектрометром AVIRIS. На рисунке 2 приводятся изображение после атмосферной коррекции, а также графики сравнения результатов применения разрабатываемого метода атмосферной коррекции и модуля FLAASH программы ENVI.

Спектральные диапазоны внутри полос поглощения воды в обоих методах исключаются из рассмотрения. Как видно из графиков, значения альбеда выбранных пикселей различных типов поверхностей в обоих методах достаточно близки.

Исследовался также снимок, полученный гиперспектрометром Hyperion со спутника EO-1. На рисунке 3 приводятся изображение после атмосферной коррекции и графики сравнения результатов применения разрабатываемого метода атмосферной коррекции и модуля

FLAASH. Из графиков видно, что оба метода дают достаточно зашумленные в определенных диапазонах спектры. В видимой же области спектра и на других участках без шумов и выбросов наблюдаются хорошие совпадения альбедо.

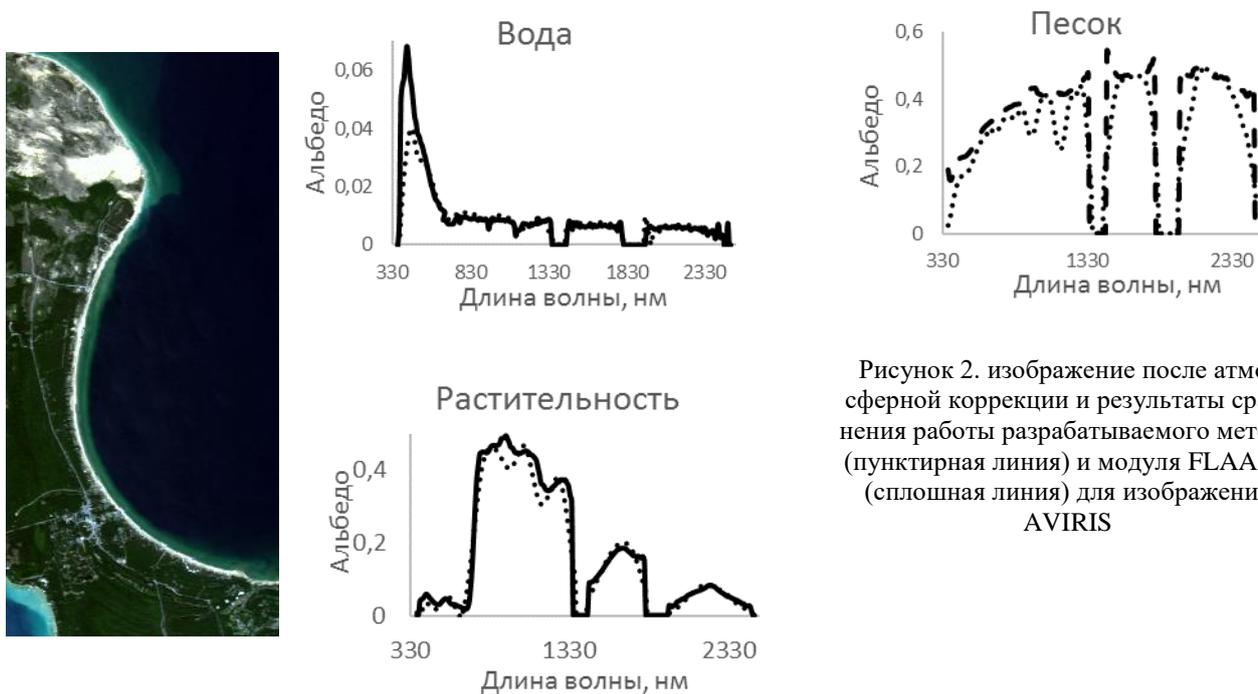


Рисунок 2. изображение после атмосферной коррекции и результаты сравнения работы разрабатываемого метода (пунктирная линия) и модуля FLAASH (сплошная линия) для изображения AVIRIS

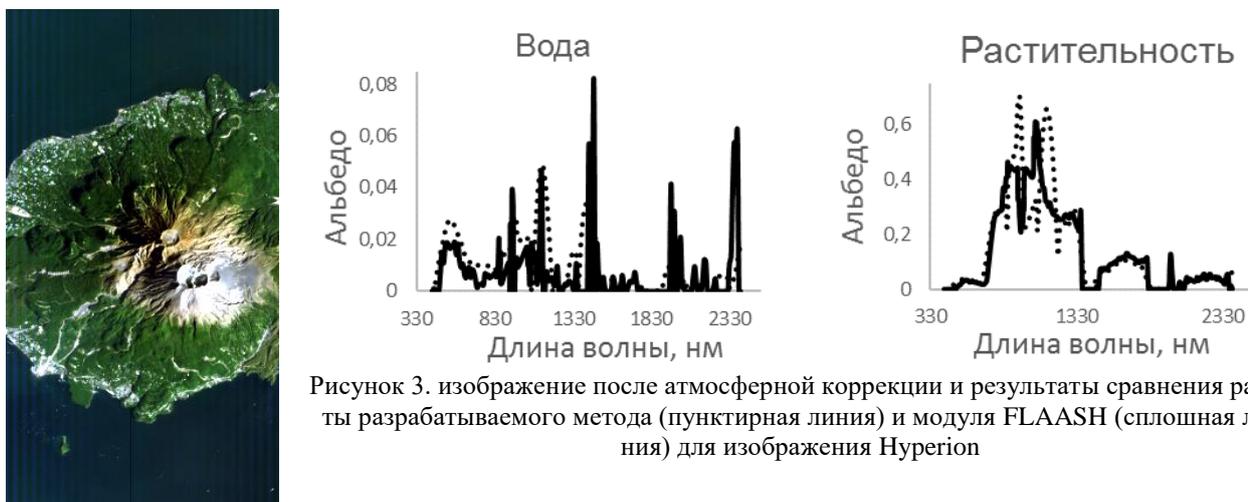


Рисунок 3. изображение после атмосферной коррекции и результаты сравнения работы разрабатываемого метода (пунктирная линия) и модуля FLAASH (сплошная линия) для изображения Nuregion

Таким образом, разработанный метод атмосферной коррекции обладает высокой точностью по сравнению с результатами атмосферной коррекции с использованием широко известного модуля FLAASH. Недостатком метода является плохое восстановление альбедо в полосах поглощения воды и атмосферных газов.

Список литературы

1. Schott J. Remote Sensing / J. Schott. – 2nd edition. – Oxford University Press, 2007. – 654p.
2. Шовенгердт Р. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. Шовенгердт. – Москва: Техносфера, 2010. – 556 с.