

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ SENTINEL

Г.В. Обытоцкий, М.А. Ташилин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
vesker@gmail.com

INVESTIGATION OF AEROSOL OPTICAL DEPTH IN THE BAIKAL REGION, USING SENTINEL SATELLITE DATA

G.V. Obytotsky, M.A. Taschilin

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
vesker@gmail.com

Аннотация. Наряду с парниковыми газами и облачностью, существенную роль в радиационных процессах в атмосфере играет аэрозоль. Оперативные количественные оценки аэрозольной оптической толщи (АОТ) в атмосфере, в том числе пространственно-временного распределения, являются важной научной и практической задачей. В работе апробирован программно-аппаратный комплекс потоковой обработки спутниковых данных SENTINEL Sen2Cor для Байкальского региона. Описаны методы исследований АОТ с помощью спутниковых данных.

Ключевые слова: аэрозольная оптическая толщина (АОТ), дистанционное зондирование, спутниковые данные, SENTINEL.

Abstract. Along with greenhouse gases and clouds, aerosol plays an important role in radiation processes in the atmosphere. Immediate quantitative estimation of the aerosol optical depth (AOD) in the atmosphere, including the spatial and temporal distribution, is an important scientific and practical problem. In this study, we tested the SENTINEL Sen2Cor software and hardware system for streaming processing of satellite data for the Baikal region. Methods for studying AOD using satellite data are described.

Keywords: Aerosol optical depth (AOD), remote sensing, satellite data, SENTINEL.

ВВЕДЕНИЕ

Аэрозоли непосредственно влияют на радиационный баланс атмосферы посредством рассеяния и поглощения в ней солнечной радиации. Оценка воздействия человеческой деятельности на прозрачность атмосферы является важной прикладной задачей, которую в последнее время все чаще решают с привлечением спутниковых данных.

Основной и наиболее изученной характеристикой прозрачности атмосферы является аэрозольная оптическая толщина (АОТ). Исследования спектральной АОТ атмосферы проводятся по всему миру и обусловлены такими проблемами, как быстрые изменения глобального климата, региональные особенности антропогенной нагрузки, влияние естественных источников замутнения атмосферы, в том числе вулканических извержений, пылевых бурь, крупных лесных пожаров и др.

В настоящее время наиболее полную информацию об изменчивости спектральных характеристик АОТ атмосферы дает глобальная фотометрическая сеть AERONET [<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>], однако на территории Байкальского региона действует лишь одна станция. АОТ атмосферы восстанавливается также по измерениям солнечной радиации на сети актинометрических станций, но только на длине волны 0.55 мкм [Плахина и др., 2009]. В Байкальском регионе такие станции располагаются в г. Бабушкин, с. Иволгинск и п. Хужир.

В последнее время для анализа пространственно-временных вариаций АОТ атмосферы все чаще привлекаются данные спутниковых измерений, в частности радиометров спутников Terra/Aqua, SENTINEL, CALIPSO и др. [Taschilin, 2021]. В данной работе

рассмотрены методы исследования АОТ со спутников SENTINEL на территории Байкальского региона.

ИССЛЕДОВАНИЕ АОТ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ SENTINEL

Европейское космическое агентство (ESA) предоставляет в свободном доступе программное обеспечение Sen2Cor для создания по распространяемым данным продуктов уровня L1C продуктов L2A. Продукты SENTINEL предоставляют из себя гранулы фиксированного размера. Размер гранул зависит от уровня обработки. В данной работе будут рассмотрены уровни L1C и L2A. Уровень L1C — это спроецированное изображение для исправления геометрических искажений, включает географические и радиометрические коэффициенты калибровки, а также привязку по времени и дополнительную информацию. Уровень обработки L2A включает атмосферную коррекцию, классификацию сцен и получение коэффициентов с нижних границ атмосферы. Продукт Level-1C состоит из тайлов 100×100 км² (ортоизображений в проекции UTM/WGS84). Продукт Level-1C является результатом использования цифровой модели рельефа для проецирования изображения в картографической геометрии. Продукты Level-1C пересчитаны с постоянным земным расстоянием замера (10, 20 и 60 м) в зависимости от исходного разрешения спектральных каналов.

Обработка уровня 2A включает классификацию сцен и атмосферную коррекцию, применяемую к продуктам ортоизображения верхнего уровня атмосферы. На выходе обработки получается карта распределения АОТ, водяного пара и карта классификации сцены вместе с индикаторами качества для веро-

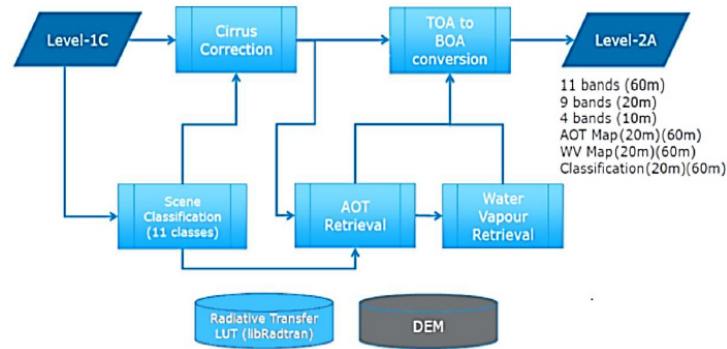


Рис. 1. Блок-схема алгоритма преобразования продуктов SENTINEL

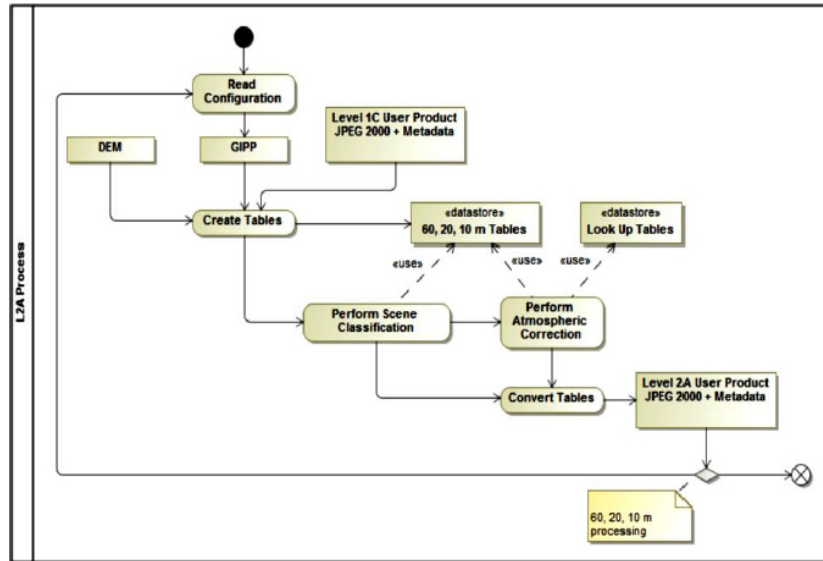


Рис. 2. Блок-схема модуля атмосферной коррекции плагина Sen2Cor

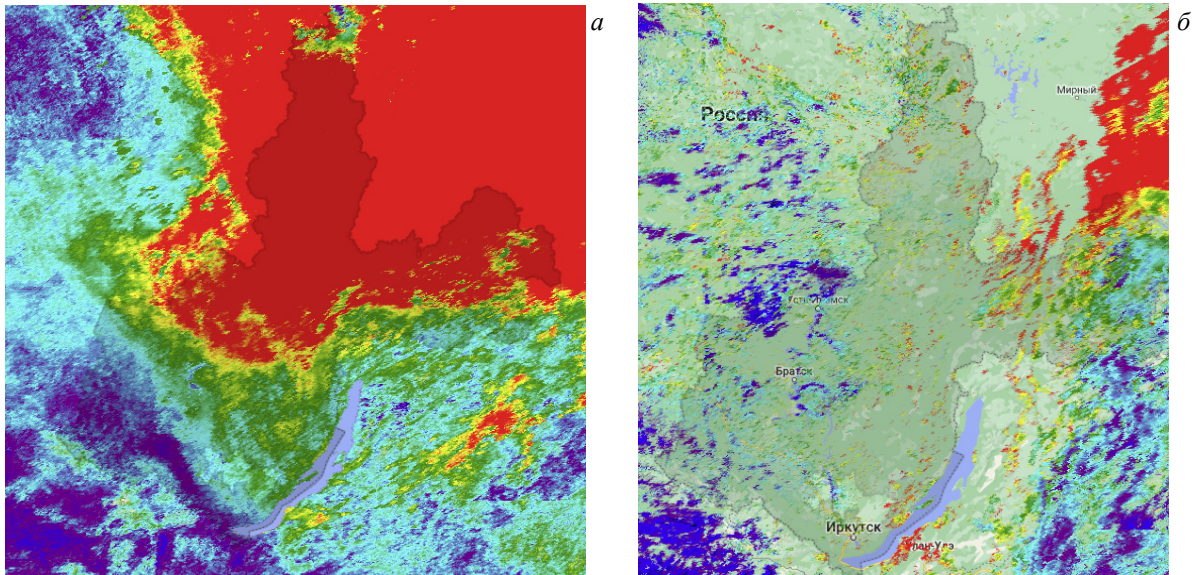


Рис. 3. AOT на территории Байкальского региона за июль 2021 г. (а) и 09 июля 2021 г. (б) по спутниковым данным SENTINEL

ятности облачности и снежного покрова с пространственным разрешением 60 м [Louis et al., 2010]. Выходные изображения L2A пересчитываются с одинаковым пространственным разрешением для всех каналов на основе запрошенного разрешения (10, 20 или 60 м) (см. рис. 1).

Алгоритм классификации сцен позволяет обнаруживать облака, снег и тени облаков и генерировать классификационную карту, которая состоит из четырех различных классов для облаков (включая перистые), а также шести различных классификаций для теней, теней облаков, растительности, почв/пус-

тынь, воды и снега. Алгоритм основан на серии пороговых тестов, которые используют в качестве входного коэффициента отражение в качестве входного сигнала из спектральных полос SENTINEL. Тип аэрозоля и АОТ получены с использованием алгоритма DDV (Dark Dense Vegetation) [Kaufman, Sendra, 1988].

Для получения продуктов второго уровня Европейское космическое агентство использует разработанный плагин Sen2Cor. Плагин Sen2Cor содержит высокоуровневую архитектуру и состоит из десяти основных модулей. Блок-схема модуля атмосферной коррекции плагина Sen2Cor показана на рис. 2.

С помощью программного комплекса Sen2Cor были получены карты распределения АОТ на территории Байкальского региона. На рис. 3 показаны карты распределения АОТ на территории Байкальского региона за июль 2021 г. (а) и 09 июля 2021 г. (б) по спутниковым данным SENTINEL.

Из рисунков видно, что данные SENTINEL подходят как для оперативного мониторинга АОТ по причине высокой частоты поступления данных (заявленная частота каждые пять дней на экваторе и каждые два-три дня в средних широтах), так и для исследования пространственно-временных особенностей распределения АОТ на территории Байкальского региона (пространственное разрешение 10, 20 и 60 м в зависимости от спутникового канала).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программный комплекс Sen2Cor потоковой обработки данных со спутников SENTINEL, который позволяет в автоматическом режиме создавать информационные продукты уровня обработки L2A, был апробирован на территории Байкальского реги-

она. Показано, что данные SENTINEL подходят как для оперативного мониторинга АОТ по причине высокой частоты поступления данных (заявленная частота каждые пять дней на экваторе и каждые два-три дня в средних широтах), так и для исследования пространственно-временных особенностей распределения АОТ в Байкальском регионе (пространственное разрешение 10, 20 и 60 м в зависимости от спутникового канала).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Плахина И.Н., Махоткина Е.Л., Панкратова Н.В. Вариации аэрозоля в толще атмосферы по данным российской актинометрической сети (1976–2006 гг.). *Известия РАН, Физика атмосферы и океана*. 2009. Т. 45, № 4. С. 489–500.

Kaufman Y., Sendra C. Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery. *Intern. J. Remote Sensing*. 1988. Vol. 9, iss. 8. P. 1357–1381.

Louis J., Charantonis A., Berthelot B. Cloud Detection for SENTINEL-2. *Proc. of ESA Living Planet Symposium*. 2010.

Taschilin M., Yakovleva I., Sakerin S., et al. Spatiotemporal variations of aerosol optical depth in the atmosphere over Baikal region based on MODIS data. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, iss. 12. P. 1706-1716.

URL: <https://aeronet.gsfc.nasa.gov> (дата обращения 30 мая 2022 г.).