ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59759— 2021

Данные дистанционного зондирования Земли из космоса

РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА, ПОЛУЧАЕМЫХ С КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ В ВИДИМОМ И БЛИЖНЕМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

Требования к алгоритмам

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН по заказу Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» Автономной некоммерческой организацией высшего образования «Университет Иннополис»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 321 «Ракетно-космическая техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2021 г. № 1514-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения 2
5 Требования к алгоритму относительной радиометрической коррекции 3
6 Требования к алгоритму абсолютной радиометрической коррекции 4
7 Требования к алгоритму атмосферной коррекции 6
8 Требования к алгоритму коррекции влияния анизотропии земной поверхности 9
Приложение А (обязательное) Справочный солнечный спектр Мирового центра радиационных данных Всемирной метеорологической организации в Давосе 11
Библиография 17

Введение

Для сопоставимости данных дистанционного зондирования Земли из космоса, полученных различными цифровыми детекторами и фотоприемными устройствами в разное время над разной земной поверхностью при разных геометрических и метеорологических условиях наблюдения, необходимо выполнять радиометрическую коррекцию этих данных. Для данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемых с космических аппаратов оптико-электронного наблюдения в каналах прозрачности атмосферы видимого и ближнего инфракрасного диапазонов, радиометрическая коррекция является обобщенным понятием, которое включает в себя следующие виды коррекций:

- относительная радиометрическая коррекция;
- абсолютная радиометрическая коррекция;
- атмосферная коррекция;
- коррекция влияния анизотропии земной поверхности.

Все перечисленные виды радиометрической коррекции изменяют значения пикселей данных дистанционного зондирования Земли из космоса, не затрагивая их геометрических свойств.

Стандарт устанавливает требования к алгоритмам каждого из видов радиометрической коррекции, применяемым в программном обеспечении автоматической стандартной обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемых с космических аппаратов оптико-электронного наблюдения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне.

Настоящий стандарт входит в группу национальных стандартов в области данных дистанционного зондирования Земли из космоса, которая предназначена для обеспечения единых требований к данным, процессам их формирования, обработки, оценки качества, хранения и доведения этих данных до потребителей.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Данные дистанционного зондирования Земли из космоса

РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА, ПОЛУЧАЕМЫХ С КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ В ВИДИМОМ И БЛИЖНЕМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

Требования к алгоритмам

Remote sensing data of the Earth from space.
Radiometric correction for remote sensing data of the Earth from space obtained from optical-electronic observation satellites in the visible and near infrared range.
Requirements for algorithms

Дата введения — 2022—05—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к алгоритмам радиометрической коррекции, применяемым в программном обеспечении автоматической обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемых в виде изображений с космических аппаратов оптико-электронного наблюдения в каналах прозрачности атмосферы видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. Разделы 7 и 8 не распространяются на требования к алгоритмам атмосферной коррекции и коррекции анизотропии земной поверхности данных дистанционного зондирования Земли из космоса, полученных над акваториями морей и океанов.

Настоящий стандарт распространяется на программное обеспечение стандартной обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса и предназначен для использования организациями-разработчиками при проектировании целевой аппаратуры космических комплексов (систем) и создании программных средств наземной инфраструктуры приема, обработки, хранения и распространения данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ Р 53460 Глобальная справочная атмосфера для высот от 0 до 120 км для аэрокосмической практики. Параметры

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **алгоритм:** Система последовательных операций, реализуемая в программном обеспечении для решения конкретной задачи.

3.2 **энергетическая яркость:** Отношение потока излучения к произведению телесного угла, в котором он распространяется, и проекции площади излучающего элемента на плоскость, перпендикулярную к направлению излучения.

3.3 **облученность:** Отношение потока излучения, падающего на малый участок поверхности, к площади этого участка.

3.4 **спектральная плотность энергетической яркости:** Отношение энергетической яркости, приходящейся на малый спектральный интервал, к ширине этого интервала.

3.5 **спектральная плотность облученности:** Отношение облученности, приходящейся на малый спектральный интервал, к ширине этого интервала.

3.6 **эффективное значение спектральной плотности энергетической яркости:** Средневзвешенное по функции спектральной чувствительности спектрального канала значение спектральной плотности энергетической яркости.

3.7 **коэффициент спектральной плотности энергетической яркости:** Отношение эффективного значения спектральной плотности энергетической яркости излучения, отраженного от изучаемой поверхности, к эффективному значению спектральной плотности энергетической яркости излучения, отраженного от совершенного рассеивателя, при тех же условиях облучения и наблюдения.

3.8 **совершенный рассеиватель:** Поверхность, которая полностью отражает падающий поток равномерно во всех направлениях.

3.9 **ламбертовский рассеиватель:** Поверхность, которая отражает падающий поток равномерно во всех направлениях.

3.10 **темновой сигнал:** Напряжение, ток или значение цифрового отсчета на выходе фоточувствительного элемента фотоприемного устройства при отсутствии потока излучения на входе.

3.11 **анизотропия земной поверхности:** Зависимость отражательных свойств земной поверхности от направления облучения и направления наблюдения этой поверхности.

3.12 **зенитный угол объекта:** Отсчитываемый от зенита угол между направлением на объект из точки наблюдения и направлением отвесной линии в этой точке.

3.13

функция преобразования электронного датчика [преобразователя физической величины]: Зависимость информативного параметра выходного сигнала электронного датчика [преобразователя физической величины] от информативного параметра его входного сигнала.

[ГОСТ Р 51086—97, статья 35]

3.14

погрешность линейности электронного датчика [преобразователя физической величины]: Погрешность аппроксимации при линейной функции преобразования электронного датчика [преобразователя физической величины].

[ГОСТ Р 51086—97, статья 28]

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АЦП — аналого-цифровой преобразователь;
ВМО — Всемирная метеорологическая организация;
ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли;
КА — космический аппарат;
КСПЭЯ — коэффициент спектральной плотности энергетической яркости;
СПЭЯ — спектральная плотность энергетической яркости;
ФПУ — фотоприемное устройство;
CEOS — Комитет по спутникам наблюдения Земли (Committee on Earth Observation Satellites);

ECMWF — Европейский центр среднесрочного прогнозирования (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts);
GRS80 — система геодезических параметров 1980 года (Geodetic Reference System 1980);
HITRAN — спектроскопическая база данных (High Resolution Transmission);
LUT — справочная таблица (Look-Up-Table);
NOAA — Национальное управление океанических и атмосферных исследований Соединенных Штатов Америки (National Oceanic and Atmospheric Administration);
UTC — всемирное координированное время (Universal Time Coordinated).

5 Требования к алгоритму относительной радиометрической коррекции

5.1 Относительная радиометрическая коррекция проводится с целью преобразования исходных значений цифровых отсчетов пикселей данных ДЗЗ из космоса, зависящих от номера цифрового детектора ФПУ, к значениям цифровых отсчетов выходных данных, для которых эта зависимость устранена.

5.2 Входными данными для алгоритма относительной радиометрической коррекции являются:

- исходные данные ДЗЗ из космоса для каждого спектрального канала;
- результаты калибровки ФПУ КА, представленные в виде файла(ов) справочных таблиц (LUT);
- метаданные, содержащие служебную информацию о текущем состоянии ФПУ КА.

5.3 Значения пикселей исходных данных ДЗЗ из космоса должны быть представлены цифровыми отсчетами, полученными АЦП на борту КА путем преобразования аналогового сигнала ФПУ.

5.4 Файл(ы) с результатами калибровки ФПУ может (могут) содержать следующие сведения:

- коды, информирующие о работоспособности каждого цифрового детектора;
- максимальные и минимальные пороговые значения цифровых отсчетов, соответствующие границам динамического диапазона АЦП на борту КА для каждого спектрального канала;
- коэффициенты, описывающие погрешность линейности каждого цифрового детектора в каждом спектральном канале;
- спектральные коэффициенты преобразования для каждого цифрового детектора и каждого спектрального канала при зачетных условиях;
- спектральные коэффициенты смещения для каждого цифрового детектора и каждого спектрального канала при зачетных условиях;
- значения цифровых отсчетов, соответствующие темновому сигналу;
- коэффициенты, определяющие зависимость спектральных коэффициентов преобразования каждого цифрового детектора от температуры фокальной плоскости ФПУ КА;
- опорное значение температуры фокальной плоскости ФПУ КА;
- иные параметры калибровки ФПУ КА, зависящие от его конструктивных особенностей.

5.5 Метаданные, содержащие служебную информацию, должны включать в себя следующие сведения о текущем состоянии ФПУ КА:

- время проведения съемки в системе UTC;
- температуру фокальной плоскости ФПУ КА во время проведения съемки;
- иные параметры, зависящие от конструктивных особенностей ФПУ КА.

5.6 Алгоритм относительной радиометрической коррекции должен подвергать исходные значения цифровых отсчетов пикселей каждого спектрального канала следующим предварительным преобразованиям:

- из исходных цифровых отсчетов должны быть вычтены значения цифровых отсчетов, соответствующие темновому сигналу;
- к исходным цифровым отсчетам пикселей должны быть добавлены поправки, учитывающие погрешность линейности цифровых детекторов ФПУ. Эти поправки должны вычисляться через значения исходных цифровых отсчетов пикселей и численные коэффициенты, описывающие погрешность линейности каждого цифрового детектора в каждом спектральном канале.

5.7 Алгоритм относительной радиометрической коррекции должен приводить спектральные коэффициенты преобразования и смещения от зачетных условий к текущим условиям съемки. В частности, приведенные к текущей температуре фокальной плоскости спектральные коэффициенты преобразования $a_{\lambda\, i}$ и смещения $b_{\lambda\, i}$ i-го цифрового детектора вычисляют по формулам:

$$a_{\lambda i} = \frac{1 + c_{\lambda i} T}{1 + c_{\lambda i} T_0} a_{\lambda i 0}, \quad b_{\lambda i} = \frac{1 + c_{\lambda i} T}{1 + c_{\lambda i} T_0} b_{\lambda i 0}, \tag{1}$$

где λ — центральная длина волны заданного спектрального канала;

$c_{\lambda i}$ — коэффициент, определяющий зависимость спектрального коэффициента преобразования i-го цифрового детектора от температуры фокальной плоскости;

T — текущая температура фокальной плоскости;

T_0 — опорная температура фокальной плоскости;

$a_{\lambda i 0}$ — спектральный коэффициент преобразования i-го цифрового детектора для зачетных условий;

$b_{\lambda i 0}$ — спектральный коэффициент смещения i-го цифрового детектора для зачетных условий.

5.8 Алгоритм относительной радиометрической коррекции должен вычислять исправленное значение цифрового отсчета пикселя $DN_{\lambda i}$, полученное i-м цифровым детектором в заданном спектральном канале, с помощью следующей функции преобразования:

$$DN_{\lambda i} = A_{\lambda i} DN_{0\lambda i} + B_{\lambda i}, \tag{2}$$

где $A_{\lambda i}$ — относительный спектральный коэффициент преобразования i-го цифрового детектора;

$DN_{0\lambda i}$ — исправленное с учетом нелинейности и темнового сигнала значение исходного цифрового отсчета пикселя, полученное i-м цифровым детектором в заданном спектральном канале;

$B_{\lambda i}$ — относительный спектральный коэффициент смещения i-го цифрового детектора.

Относительные спектральные коэффициенты преобразования $A_{\lambda i}$ и смещения $B_{\lambda i}$ i-го цифрового детектора вычисляют по формулам:

$$A_{\lambda i} = \frac{a_{\lambda i}}{a_{\lambda}}, \; B_{\lambda i} = \frac{b_{\lambda i} - b_{\lambda}}{a_{\lambda}}, \tag{3}$$

где $a_{\lambda i}$ — спектральный коэффициент преобразования i-го цифрового детектора;

a_{λ} — спектральный коэффициент преобразования опорного цифрового детектора;

$b_{\lambda i}$ — спектральный коэффициент смещения i-го цифрового детектора;

b_{λ} — спектральный коэффициент смещения опорного цифрового детектора.

5.9 Скорректированные значения цифровых отсчетов считаются ненадежными:

- для сбойных пикселей, возникших при передаче данных ДЗЗ из космоса с борта КА на наземную инфраструктуру приема и обработки данных ДЗЗ из космоса;
- пикселей, величина шума которых превышает пороговое значение;
- пикселей, значения цифровых отсчетов которых выходят за пределы динамического диапазона АЦП на борту КА;
- пикселей, соответствующих цифровым детекторам, которые по результатам калибровки признаны неработоспособными.

5.10 В результате проведения относительной радиометрической коррекции должен быть получен набор данных ДЗЗ из космоса, содержащий:

- данные ДЗЗ из космоса для каждого спектрального канала, значения пикселей которых представлены исправленными цифровыми отсчетами;
- метаданные, содержащие для каждого спектрального канала значения спектрального коэффициента преобразования и спектрального коэффициента смещения опорного цифрового детектора.

6 Требования к алгоритму абсолютной радиометрической коррекции

6.1 Абсолютная радиометрическая коррекция проводится с целью преобразования значений цифровых отсчетов пикселей данных ДЗЗ из космоса, прошедших относительную радиометрическую коррекцию, к эффективным значениям СПЭЯ либо значениям КСПЭЯ, отнесенных к уровню верхней границы атмосферы.

6.2 Алгоритм абсолютной радиометрической коррекции должен проводить преобразование цифровых отсчетов пикселей в эффективные значения СПЭЯ $L_{e\lambda TOA}$, отнесенные к уровню верхней границы атмосферы, с помощью следующей функции преобразования:

$$L_{e\lambda\ TOA} = a_\lambda DN_\lambda + b_\lambda, \quad (4)$$

где a_λ — спектральный коэффициент преобразования опорного цифрового детектора;

DN_λ — значение цифрового отсчета пикселя в заданном спектральном канале, прошедшее относительную радиометрическую коррекцию;

b_λ — спектральный коэффициент смещения опорного цифрового детектора.

Эффективные значения СПЭЯ по результатам преобразования должны быть представлены в единицах Вт/(м^2·ср·мкм).

6.3 Для преобразования эффективных значений СПЭЯ к значениям КСПЭЯ, отнесенных к верхней границе атмосферы, однократно после каждой спектральной калибровки ФПУ должны быть рассчитаны эффективные значения внеатмосферной спектральной плотности облученности солнечного излучения на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца для каждого спектрального канала. Для этого файл(ы) с результатами спектральной калибровки ФПУ должен (должны) содержать значения относительной функции спектральной чувствительности для каждого спектрального канала с шагом не более 2 нм. Эффективное значение внеатмосферной спектральной плотности облученности солнечного излучения на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца для заданного спектрального канала $E_{\lambda TOA}$ вычисляют по формуле

$$E_{\lambda\ TOA} = \frac{\int_0^\infty E_{\lambda'} F_\lambda(\lambda') d\lambda'}{\int_0^\infty F_\lambda(\lambda') d\lambda'}, \quad (5)$$

где λ' — длина волны заданной спектральной линии;

$E_{\lambda'}$ — внеатмосферная спектральная плотность облученности солнечного излучения на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца для заданной спектральной линии;

F_λ — функция спектральной чувствительности для заданного спектрального канала.

Значения $E_{\lambda'}$ следует брать из справочного солнечного спектра Мирового центра радиационных данных ВМО в Давосе (приложение А). Программное обеспечение автоматической стандартной обработки должно сохранять результаты расчетов $E_{\lambda TOA}$ и применять их ко всем данным в процессе их обработки до обновления параметров спектральной калибровки.

Примечание — Справочный солнечный спектр Мирового центра радиационных данных ВМО в Давосе рекомендован к использованию при обработке данных ДЗЗ из космоса подгруппой по оптическим датчикам видимого и инфракрасного диапазонов группы по калибровке и валидации CEOS.

6.4 Каждый раз перед преобразованием эффективных значений СПЭЯ пикселей, отнесенных к верхней границе атмосферы, к значениям КСПЭЯ пикселей, отнесенных к тому же уровню, должны быть рассчитаны:

- зенитные углы Солнца для каждого пикселя данных;
- расстояние между Землей и Солнцем.

6.5 Алгоритм абсолютной радиометрической коррекции при расчете зенитных углов Солнца должен аппроксимировать поверхность Земли эллиптической поверхностью, поднятой на среднюю фиксированную высоту местности над общеземным эллипсоидом. В качестве общеземного эллипсоида рекомендуется использовать эллипсоид GRS80, одобренный Международным геодезическим и геофизическим союзом [1].

6.6 Алгоритм абсолютной радиометрической коррекции должен проводить преобразование эффективных значений СПЭЯ в значения КСПЭЯ $\rho_{\lambda\ TOA}$, отнесенные к уровню верхней границы атмосферы, с помощью следующего выражения:

$$\rho_{\lambda\ TOA} = \frac{\pi L_{e\lambda\ TOA} d^2}{E_{\lambda\ TOA} \cos\theta_s}, \quad (6)$$

где d — расстояние между Землей и Солнцем, выраженное в астрономических единицах;

θ_s — зенитный угол Солнца для соответствующего пикселя.

6.7 в результате проведения абсолютной радиометрической коррекции должен быть получен набор данных ДЗЗ из космоса, содержащий:

- данные ДЗЗ из космоса для каждого спектрального канала, значения пикселей которых представлены эффективными значениями СПЭЯ либо значениями КСПЭЯ;

- метаданные, содержащие дополнительно к сведениям, приведенным в 5.10, эффективные значения внеатмосферной спектральной плотности облученности солнечного излучения на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца для каждого спектрального канала.

7 Требования к алгоритму атмосферной коррекции

7.1 Атмосферную коррекцию проводят с целью преобразования эффективных значений СПЭЯ либо значений КСПЭЯ, отнесенных к уровню верхней границы атмосферы, к значениям тех же величин, отнесенных к уровню поверхности Земли.

7.2 Перед проведением атмосферной коррекции должна быть проведена классификация данных ДЗЗ из космоса в пределах обрабатываемой сцены с созданием маски облачности и маски облачных теней.

7.3 Алгоритм модели, реализующий атмосферную коррекцию данных ДЗЗ из космоса, должен обеспечивать выполнение двух операций:

- составление уравнения атмосферной коррекции для каждого пикселя данных;
- решение уравнения атмосферной коррекции для каждого пикселя данных.

7.4 Требования к алгоритму составления уравнения атмосферной коррекции

7.4.1 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен быть основан на следующем уравнении, записанном в предположении, что поверхность Земли является ламбертовским рассеивателем:

$$\rho_{\lambda\,TOA} = \rho'_{\lambda\,R+A} + \frac{\alpha_\lambda}{1-\langle\rho_{\lambda\,TOC}\rangle S_\lambda}\rho_{\lambda\,TOC} + \frac{\beta_\lambda}{1-\langle\rho_{\lambda\,TOC}\rangle S_\lambda}\langle\rho_{\lambda\,TOC}\rangle, \quad (7)$$

где $\rho'_{\lambda\,R+A}$ — исправленный на поглощение коэффициент внутреннего отражения атмосферой солнечного излучения в направлении КА за счет молекулярного (рэлеевского) и аэрозольного рассеяния для заданного спектрального канала;

α_λ и β_λ — модельные параметры для заданного спектрального канала;

$\langle\rho_{\lambda\,TOC}\rangle$ — среднее значение КСПЭЯ вокруг пикселя в заданном спектральном канале, отнесенное к уровню поверхности Земли;

$\rho_{\lambda\,TOC}$ — КСПЭЯ пикселя в заданном спектральном канале, отнесенный к уровню поверхности Земли;

S_λ — сферическое альбедо атмосферы для заданного спектрального канала.

Исправленный на поглощение коэффициент внутреннего отражения атмосферой солнечного излучения в направлении КА за счет молекулярного (рэлеевского) и аэрозольного рассеяния для заданного спектрального канала $\rho'_{\lambda\,R+A}$ вычисляют по формуле

$$\rho'_{\lambda\,R+A} = T_{g\lambda\,O_3}(\theta_s)T_{g\lambda\,O_3}(\theta_v)\left[\rho_{\lambda\,R} + (\rho_{\lambda\,R+A} - \rho_{\lambda\,R})T_{g\lambda\,H_2O/2}(\theta_s)T_{g\lambda\,H_2O/2}(\theta_v)\right], \quad (8)$$

где $T_{g\lambda\,O_3}$ — коэффициент поглощения интегрального содержания озона в атмосферном столбе для заданного спектрального канала;

θ_v — зенитный угол КА для соответствующего пикселя;

$\rho_{\lambda\,R}$ — коэффициент внутреннего отражения атмосферой солнечного излучения в направлении КА за счет молекулярного (рэлеевского) рассеяния для заданного спектрального канала;

$\rho_{\lambda\,R+A}$ — коэффициент внутреннего отражения атмосферой солнечного излучения в направлении КА за счет молекулярного (рэлеевского) и аэрозольного рассеяния для заданного спектрального канала;

$T_{g\,\lambda\,H_2O/2}$ — коэффициент поглощения половины интегрального содержания водяного пара в атмосферном столбе для заданного спектрального канала.

Модельные параметры α_λ и β_λ для заданного спектрального канала вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned}\alpha_\lambda &= T_{g\lambda\,O_3}(\theta_s)T_{g\lambda\,O_3}(\theta_v)T_{g\lambda\,H_2O}(\theta_s)T_{g\lambda\,H_2O}(\theta_v)t_{dir\,\lambda}(\theta_v)\left[t_{dir\,\lambda}(\theta_s) + t_{diff\,\lambda}(\theta_s)\right],\\ \beta_\lambda &= T_{g\lambda\,O_3}(\theta_s)T_{g\lambda\,O_3}(\theta_v)T_{g\lambda\,H_2O}(\theta_s)T_{g\lambda\,H_2O}(\theta_v)t_{diff\,\lambda}(\theta_v)\left[t_{dir\,\lambda}(\theta_s) + t_{diff\,\lambda}(\theta_s)\right],\end{aligned} \quad (9)$$

где $T_{g\,\lambda\,H_2O}$ — коэффициент поглощения интегрального содержания водяного пара в атмосферном столбе для заданного спектрального канала;

$t_{dir\,\lambda}$ — спектральный коэффициент направленного пропускания атмосферы для заданного спектрального канала;

$t_{diff\,\lambda}$ — спектральный коэффициент диффузного пропускания атмосферы для заданного спектрального канала.

Примечание — Физический смысл слагаемых, входящих в уравнение (7), заключается в том, что первое слагаемое отвечает за солнечное излучение, отраженное внутри атмосферы в направлении КА. Второе слагаемое главным образом связано с солнечным излучением, напрямую отраженным от изучаемого элемента поверхности в направлении КА. Третье слагаемое вызвано солнечным излучением, отраженным в направлении КА элементами поверхности, соседними с изучаемым элементом.

7.4.2 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен принимать равными единице коэффициенты поглощения водяного пара и озона в случае, если в границы спектрального канала не попадают спектральные линии поглощения соответствующих газов. В противном случае коэффициенты поглощения должны моделироваться с помощью следующих выражений:

$$T_{g\lambda O_3}(\theta) = e^{-\tau_{\lambda O_3}/\cos\theta},\ T_{g\lambda\,H_2O}(\theta) = e^{-\tau_{\lambda H_2O}/\cos\theta}, \quad (10)$$

где θ — зенитный угол КА или Солнца для соответствующего пикселя;

$\tau_{\lambda O_3}$ — оптическая толщина пропускания озона для заданного спектрального канала;

$\tau_{\lambda H_2O}$ — оптическая толщина пропускания водяного пара для заданного спектрального канала.

Оптические толщины водяного пара и озона должны оцениваться через объемные спектральные коэффициенты поглощения и интегральные содержания соответствующих газов в атмосферном столбе.

7.4.3 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен извлекать объемные спектральные коэффициенты поглощения из международных баз данных о спектральных свойствах газов.

Примечание — Наиболее известной и используемой базой данных о спектральных свойствах газов является HITRAN.

7.4.4 Рекомендуется, чтобы алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции извлекал значения интегральных содержаний водяного пара и озона в атмосферном столбе из продуктов обработки данных ДЗЗ из космоса, полученных при наблюдениях в каналах поглощения этих газов в ближнем и дальнем инфракрасных диапазонах. Если программное обеспечение автоматической стандартной обработки не предполагает импорт этих продуктов или они недоступны, рекомендуется использовать выходные данные реанализов. Использование априорных значений интегральных содержаний водяного пара и озона, основанных на климатических моделях, допускается при обработке данных, по которым не предполагается восстановление геофизических индексов.

Примечание — Наиболее известными операторами выходных данных реанализов являются Европейский центр среднесрочного прогнозирования (ECMWF) и Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA).

7.4.5 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен вычислять коэффициент внутреннего отражения атмосферой солнечного излучения в направлении КА за счет молекулярного (рэлеевского) рассеяния через молекулярную оптическую толщину, которая зависит от высотного профиля концентрации рассеивателей (молекул газов), а также абсолютной высоты изучаемого элемента поверхности. Угол рассеяния следует рассчитывать по зенитным углам и разности азимутов Солнца и КА. При этом следует придерживаться требований, указанных в 6.5.

7.4.6 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен вычислять высотный профиль концентрации молекул атмосферных газов с помощью климатических моделей высотных профилей давления и температуры воздуха. Рекомендуется использовать климатическую модель глобальной справочной атмосферы по ГОСТ Р 53460.

7.4.7 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен оценивать вклад аэрозолей в коэффициент внутреннего отражения атмосферой солнечного излучения в направлении КА через высотный профиль концентрации аэрозолей и процентные соотношения концентраций отдельных типов аэрозолей.

7.4.8 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен извлекать процентные соотношения концентраций типов аэрозолей из климатических моделей исходя из вида ландшафта.

При этом должно предполагаться, что каждый из ландшафтов характеризуется инвариантной по высоте смесью из четырех типов аэрозолей: пылевидных, океанических, водорастворимых и сажи.

Пример — Модель смеси аэрозолей городского ландшафта предполагает 17 % пылевидных аэрозолей, 61 % водорастворимых аэрозолей и 22 % сажи.

7.4.9 Рекомендуется, чтобы алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции моделировал форму высотного профиля концентрации аэрозолей в виде экспоненциальной функции, а общее содержание аэрозолей в атмосферном столбе — с помощью оптической толщины.

Примечание — В качестве альтернативы оптической толщины аэрозолей алгоритмы моделей атмосферных коррекций часто используют метеорологическую дальность видимости. Этот подход не рекомендуется, т. к. зависит от сильных эмпирических предположений.

7.4.10 Рекомендуется, чтобы алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции извлекал значения оптических толщин аэрозолей из соответствующих продуктов обработки данных ДЗЗ из космоса. Если программное обеспечение автоматической стандартной обработки не предполагает импорт этих продуктов или они недоступны, то рекомендуется использовать климатические модели, описывающие общее содержание аэрозолей исходя из вида ландшафта.

Примечание — Продукты обработки данных ДЗЗ из космоса, содержащие оптическую толщину аэрозолей, создаются на основе применения методики Кауфмана или методики «Глубокого синего». Методика Кауфмана оценивает оптическую толщину аэрозолей над темными объектами (влажная растительность, пашня и др.) исходя из корреляции значений СПЭЯ этих объектов в канале прозрачности среднего инфракрасного диапазона (как правило, 2,1 мкм) со значениями СПЭЯ этих объектов в красном и синем каналах видимого диапазона. Методика «Глубокого синего» позволяет оценить оптическую толщину аэрозолей над яркими поверхностями в результате анализа наблюдений в каналах сине-фиолетовой области видимого диапазона (как правило, 0,412 или 0,470 мкм), для которых имеет место сильное аэрозольное рассеяние, но слабое отражение от земной поверхности.

7.4.11 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен вычислять спектральный коэффициент направленного пропускания и спектральный коэффициент диффузного пропускания через молекулярную и аэрозольную оптические толщины, а также зенитные углы КА или Солнца.

7.4.12 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен вычислять сферическое альбедо атмосферы с помощью молекулярной и аэрозольной оптических толщин.

7.4.13 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен выполнять эту операцию с использованием файлов справочных таблиц. Справочные таблицы должны быть однократно рассчитаны для каждого ФПУ и включать следующие элементы уравнения атмосферной коррекции (или их математических комбинаций с коэффициентами поглощения):

- коэффициент внутреннего отражения атмосферы солнечного излучения в направлении КА за счет молекулярного (рэлеевского) и аэрозольного рассеяния;
- спектральный коэффициент направленного пропускания;
- спектральный коэффициент диффузного пропускания;
- сферическое альбедо атмосферы.

Примечание — Примерами математических комбинаций элементов уравнения атмосферной коррекции служат модельные параметры α_λ и β_λ в выражении (7).

7.4.14 Предвычисленные значения элементов уравнения атмосферной коррекции (или их математических комбинаций с коэффициентами поглощения) в файлах справочных таблиц должны быть приведены для каждого спектрального канала и для широкого диапазона значений параметров, характеризующих геометрические и метеорологические условия съемки. В таблице 1 приведены максимальный рекомендуемый шаг сетки по каждому из параметров условий съемки, а также рекомендуемый диапазон их значений.

Таблица 1 — Рекомендуемые максимальный шаг сетки и диапазон значений параметров условий съемки в файлах справочных таблиц

Параметр условий съемки	Шаг сетки	Диапазон значений
1 Зенитный угол Солнца, град	10°	От 0° до 80° включ.
2 Зенитный угол КА, град	10°	От 0° до 60° включ.

Окончание таблицы 1

Параметр условий съемки	Шаг сетки	Диапазон значений
3 Разность азимутов Солнца и КА[1)], град	60°	От 0° до 180° включ.
4 Абсолютная высота земной поверхности, км	3	От 0 до 9 включ.
5 Интегральное содержание водяного пара, кг/м^2	10	От 0 до 70 включ.
6 Интегральное содержание озона[2)], ммоль/м^2	44,62	От 44,62 до 223,10 включ.
7 Оптическая толщина аэрозоля	0,01; 0,2; 0,5; 1,0 и 1,5	От 0 до 1,5 включ.
[1)] Зависимость элементов уравнения атмосферной коррекции от разности азимутов КА и Солнца в справочных таблицах может быть исключена для обработки данных ДЗЗ, получаемых с КА, осуществляющих съемку в надирном и близком к надирному направлениях. [2)] Зависимость элементов уравнения атмосферной коррекции от интегрального содержания озона может быть исключена, если модель атмосферной коррекции не включает коэффициент поглощения озона в математические комбинации элементов этого уравнения.		

7.4.15 Алгоритм составления уравнения атмосферной коррекции должен обеспечивать интерполяцию элементов уравнения атмосферной коррекции от значений параметров условий съемки, заданных в узлах сетки справочных таблиц, к текущим значениям параметров условий съемки, полученных из внешних источников согласно рекомендациям, указанным в 7.4.2—7.4.10.

7.5 Требования к алгоритму решения уравнения атмосферной коррекции

7.5.1 Алгоритм решения уравнения атмосферной коррекции, составленного для каждого пикселя данных ДЗЗ из космоса, должен состоять из следующих шагов:

- шаг 1. Уравнения атмосферной коррекции для каждого пикселя обращаются относительно КСПЭЯ, отнесенных к уровню поверхности Земли ($\rho_{\lambda\ TOC}$), в предположении, что $\langle\rho_{\lambda\ TOC}\rangle = \rho_{\lambda\ TOC}$;
- шаг 2. Вычисляются средние значения КСПЭЯ вокруг каждого пикселя $\langle\rho_{\lambda\ TOC}\rangle$ с помощью $\rho_{\lambda\ TOC}$, полученных на шаге 1. При этом учитывается пространственная функция окружения, задающая доли вклада в $\langle\rho_{\lambda\ TOC}\rangle$ значений окружающих пикселей в зависимости от их расстояния до изучаемого (центрального) пикселя;
- шаг 3. Уравнения атмосферной коррекции записываются для каждого пикселя с учетом вычисленных на шаге 2 значений $\langle\rho_{\lambda\ TOC}\rangle$ и обращаются относительно $\rho_{\lambda\ TOC}$.

7.5.2 Рекомендуется, чтобы алгоритм решения уравнения атмосферной коррекции, применяемый к данным ДЗЗ из космоса сверхнизкого пространственного разрешения, использовал только шаг 1, указанный в 7.5.1.

7.5.3 Значения КСПЭЯ, отнесенные к уровню поверхности Земли, для пикселей, попавших в маски облачности и маски облачных теней, а также для пикселей, для которых оптическая толщина аэрозолей более 1,5 или зенитный угол Солнца более 70°, считаются ненадежными.

7.5.4 В случае, если данные ДЗЗ из космоса, прошедшие атмосферную коррекцию, необходимо представить в виде эффективных значений СПЭЯ $L_{e\lambda\ TOC}$, отнесенных к уровню поверхности Земли, следует использовать следующую формулу преобразования:

$$L_{e\lambda\ TOC} = \rho_{\lambda\ TOC}\frac{T_{g\lambda H_2O}(\theta_s)T_{g\lambda\ O_3}(\theta_s)\left(t_{dir\ \lambda}(\theta_s)+t_{diff\ \lambda}(\theta_s)\right)}{\pi\left(1-S_\lambda\langle\rho_{\lambda\ TOC}\rangle\right)}\frac{E_{e\lambda\ TOA}\cos\theta_s}{d^2}. \quad (11)$$

8 Требования к алгоритму коррекции влияния анизотропии земной поверхности

8.1 Коррекция влияния анизотропии земной поверхности проводится с целью исключить из временных рядов значений КСПЭЯ, отнесенных к уровню поверхности Земли, вариации, вызванные изменениями геометрических условий облучения этой поверхности Солнцем и наблюдения этой поверхности ФПУ КА.

8.2 Коррекцию влияния анизотропии земной поверхности следует проводить для данных ДЗЗ из космоса низкого и сверхнизкого пространственного разрешения.

8.3 Для проведения коррекции влияния анизотропии земной поверхности значения КСПЭЯ каждого пикселя, отнесенные к уровню поверхности Земли, следует представлять в виде:

$$\rho_{\lambda TOC}(\theta_v, \theta_s, \varphi) = k_0(\lambda) + k_1(\lambda) \cdot f_1(\theta_v, \theta_s, \varphi) + k_2(\lambda) \cdot f_2(\theta_v, \theta_s, \varphi), \quad (12)$$

где φ — разность азимутов Солнца и КА для данного пикселя;

k_0, k_1, k_2 — численные коэффициенты;

f_1 — базовая функция, описывающая геометрические отражение;

f_2 — базовая функция, описывающая сферическое отражение.

Примечание — Существует несколько аналитических выражений для базовых функций, применимых для обработки данных ДЗЗ из космоса и доступных в специальной литературе.

8.4 Алгоритм проведения коррекции влияния анизотропии земной поверхности должен вычислять численные коэффициенты по формуле (12) для каждого спектрального канала и каждого пикселя данных ДЗЗ из космоса на основании набора значений КСПЭЯ, полученных для одной и той же поверхности, но при разных углах облучения и наблюдения. Рекомендуемый период сбора данных составляет 30 дней.

8.5 По найденным значениям численных коэффициентов следует вычислить по формуле (12) для каждого пикселя и каждого спектрального канала среднее для периода сбора данных значение КСПЭЯ, отнесенное к уровню поверхности Земли и к заданным геометрическим условиям облучения и наблюдения.

8.6 Геометрические условия облучения и наблюдения, к которым приводятся значения КСПЭЯ в 8.5, должны оставаться фиксированными для всей коллекции данных ДЗЗ из космоса, прошедших коррекцию влияния анизотропии земной поверхности.

Приложение А
(обязательное)

Справочный солнечный спектр Мирового центра радиационных данных Всемирной метеорологической организации в Давосе

Таблица А.1

λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2
379,5	1,07540	414,5	1,75480	449,5	2,00310	484,5	1,99990
380,5	1,21750	415,5	1,75440	450,5	2,11920	485,5	1,87860
381,5	1,11530	416,5	1,81390	451,5	2,11200	486,5	1,62810
382,5	0,79515	417,5	1,64980	452,5	2,00570	487,5	1,86390
383,5	0,69923	418,5	1,71750	453,5	1,91940	488,5	1,96640
384,5	0,97639	419,5	1,73470	454,5	2,04710	489,5	1,93370
385,5	1,01810	420,5	1,75250	455,5	2,02500	490,5	2,05950
386,5	1,01400	421,5	1,72150	456,5	2,10200	491,5	1,94230
387,5	0,99206	422,5	1,63190	457,5	2,12180	492,5	1,84990
388,5	0,97204	423,5	1,73920	458,5	1,99430	493,5	1,95270
389,5	1,18960	424,5	1,80010	459,5	2,06050	494,5	2,00950
390,5	1,23060	425,5	1,73320	460,5	2,03640	495,5	1,97230
391,5	1,36280	426,5	1,72990	461,5	2,08200	496,5	1,99500
392,5	1,02110	427,5	1,60850	462,5	2,10080	497,5	2,03460
393,5	0,54591	428,5	1,62220	463,5	2,03110	498,5	1,93540
394,5	1,03620	429,5	1,50740	464,5	2,06820	499,5	1,88250
395,5	1,30930	430,5	1,21290	465,5	1,99500	500,5	1,82960
396,5	0,81889	431,5	1,49060	466,5	2,00800	501,5	1,85500
397,5	0,91392	432,5	1,66660	467,5	2,02420	502,5	1,84470
398,5	1,50060	433,5	1,79400	468,5	1,98000	503,5	1,94320
399,5	1,64140	434,5	1,51940	469,5	2,03660	504,5	1,90120
400,5	1,65620	435,5	1,70010	470,5	1,92380	505,5	1,94960
401,5	1,73600	436,5	1,90810	471,5	2,01130	506,5	1,96810
402,5	1,76940	437,5	1,69270	472,5	2,06080	507,5	1,83680
403,5	1,66790	438,5	1,65580	473,5	2,02330	508,5	1,87280
404,5	1,64890	439,5	1,84380	474,5	2,08230	509,5	1,90890
405,5	1,67450	440,5	1,74340	475,5	2,07680	510,5	1,86970
406,5	1,58220	441,5	1,90850	476,5	2,00020	511,5	1,96120
407,5	1,59830	442,5	1,99710	477,5	2,08740	512,5	1,86240
408,5	1,73910	443,5	1,92640	478,5	2,06660	513,5	1,83040
409,5	1,72680	444,5	1,98490	479,5	2,07400	514,5	1,84910
410,5	1,54230	445,5	1,83770	480,5	2,07800	515,5	1,86780
411,5	1,79260	446,5	1,87060	481,5	2,08190	516,5	1,74910
412,5	1,77340	447,5	2,02310	482,5	2,07220	517,5	1,59010
413,5	1,72300	448,5	1,98680	483,5	2,03910	518,5	1,66330

Продолжение таблицы А.1

λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2
519,5	1,80870	564,5	1,81110	609,5	1,71040	654,5	1,49350
520,5	1,82410	565,5	1,78700	610,5	1,70530	655,5	1,43000
521,5	1,83960	566,5	1,76290	611,5	1,70020	656,5	1,36640
522,5	1,82090	567,5	1,80470	612,5	1,68690	657,5	1,42980
523,5	1,80970	568,5	1,80190	613,5	1,67360	658,5	1,49320
524,5	1,89790	569,5	1,79900	614,5	1,67260	659,5	1,50940
525,5	1,82230	570,5	1,75930	615,5	1,67170	660,5	1,52550
526,5	1,74670	571,5	1,78550	616,5	1,64510	661,5	1,52280
527,5	1,71090	572,5	1,81180	617,5	1,61860	662,5	1,52000
528,5	1,89050	573,5	1,82660	618,5	1,64710	663,5	1,51720
529,5	1,89040	574,5	1,84140	619,5	1,67560	664,5	1,51000
530,5	1,89030	575,5	1,79260	620,5	1,67580	665,5	1,50290
531,5	1,92040	576,5	1,79270	621,5	1,67610	666,5	1,50620
532,5	1,81350	577,5	1,79270	622,5	1,66240	667,5	1,50950
533,5	1,82540	578,5	1,79250	623,5	1,64880	668,5	1,51280
534,5	1,83730	579,5	1,79240	624,5	1,62660	669,5	1,51710
535,5	1,92640	580,5	1,79270	625,5	1,60430	670,5	1,52140
536,5	1,86640	581,5	1,80510	626,5	1,63290	671,5	1,52010
537,5	1,86860	582,5	1,81740	627,5	1,66160	672,5	1,51890
538,5	1,87080	583,5	1,81500	628,5	1,65870	673,5	1,51520
539,5	1,82850	584,5	1,81250	629,5	1,65570	674,5	1,51160
540,5	1,78730	585,5	1,76300	630,5	1,63910	675,5	1,50790
541,5	1,82770	586,5	1,77300	631,5	1,62250	676,5	1,50260
542,5	1,86810	587,5	1,78300	632,5	1,62110	677,5	1,49730
543,5	1,83890	588,5	1,73620	633,5	1,61970	678,5	1,48820
544,5	1,85440	589,5	1,68950	634,5	1,61800	679,5	1,47910
545,5	1,86990	590,5	1,72340	635,5	1,61620	680,5	1,47010
546,5	1,88640	591,5	1,75740	636,5	1,61450	681,5	1,47060
547,5	1,86270	592,5	1,77000	637,5	1,62260	682,5	1,47110
548,5	1,85640	593,5	1,76420	638,5	1,63080	683,5	1,47170
549,5	1,85020	594,5	1,75840	639,5	1,61560	684,5	1,47030
550,5	1,86230	595,5	1,75120	640,5	1,60040	685,5	1,46900
551,5	1,85700	596,5	1,74400	641,5	1,59100	686,5	1,47000
552,5	1,85170	597,5	1,74470	642,5	1,58170	687,5	1,47110
553,5	1,86700	598,5	1,74540	643,5	1,58630	688,5	1,47220
554,5	1,87190	599,5	1,73130	644,5	1,59100	689,5	1,46220
555,5	1,87680	600,5	1,71710	645,5	1,58620	690,5	1,45220
556,5	1,81760	601,5	1,70310	646,5	1,58130	691,5	1,44670
557,5	1,79770	602,5	1,68920	647,5	1,57650	692,5	1,44130
558,5	1,77770	603,5	1,73210	648,5	1,56630	693,5	1,43580
559,5	1,78840	604,5	1,73270	649,5	1,55610	694,5	1,44070
560,5	1,78850	605,5	1,73320	650,5	1,56740	695,5	1,44570
561,5	1,78850	606,5	1,73300	651,5	1,57880	696,5	1,45060
562,5	1,83510	607,5	1,73290	652,5	1,56790	697,5	1,42090
563,5	1,82310	608,5	1,72160	653,5	1,55700	698,5	1,39120

Продолжение таблицы А.1

λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2
699,5	1,39940	744,5	1,27260	789,5	1,14620	834,5	1,03360
700,5	1,40750	745,5	1,27480	790,5	1,13850	835,5	1,03160
701,5	1,41560	746,5	1,27300	791,5	1,13080	836,5	1,02950
702,5	1,42070	747,5	1,27130	792,5	1,12870	837,5	1,02910
703,5	1,42580	748,5	1,26950	793,5	1,12660	838,5	1,02870
704,5	1,43090	749,5	1,26540	794,5	1,12440	839,5	1,02830
705,5	1,42750	750,5	1,26130	795,5	1,12230	840,5	1,02790
706,5	1,42420	751,5	1,25720	796,5	1,11690	841,5	1,01920
707,5	1,42080	752,5	1,25800	797,5	1,11140	842,5	1,01060
708,5	1,40870	753,5	1,25880	798,5	1,10600	843,5	1,00190
709,5	1,39660	754,5	1,25960	799,5	1,10760	844,5	1,00310
710,5	1,38830	755,5	1,25580	800,5	1,10930	845,5	1,00430
711,5	1,38000	756,5	1,25200	801,5	1,11090	846,5	1,00550
712,5	1,37170	757,5	1,24820	802,5	1,11260	847,5	1,00660
713,5	1,36490	758,5	1,24440	803,5	1,11100	848,5	0,99239
714,5	1,35810	759,5	1,23730	804,5	1,10940	849,5	0,97814
715,5	1,35130	760,5	1,23020	805,5	1,10780	850,5	0,96388
716,5	1,35020	761,5	1,22310	806,5	1,10620	851,5	0,94963
717,5	1,34900	762,5	1,22250	807,5	1,10300	852,5	0,93597
718,5	1,34780	763,5	1,22200	808,5	1,09970	853,5	0,92230
719,5	1,34490	764,5	1,22140	809,5	1,09640	854,5	0,90864
720,5	1,34190	765,5	1,21340	810,5	1,09830	855,5	0,89497
721,5	1,33890	766,5	1,20540	811,5	1,10010	856,5	0,91386
722,5	1,33810	767,5	1,19740	812,5	1,10190	857,5	0,93275
723,5	1,33740	768,5	1,19570	813,5	1,10380	858,5	0,95163
724,5	1,33660	769,5	1,19400	814,5	1,09770	859,5	0,97052
725,5	1,33150	770,5	1,19230	815,5	1,09150	860,5	0,97252
726,5	1,32630	771,5	1,19060	816,5	1,08540	861,5	0,97451
727,5	1,32120	772,5	1,18810	817,5	1,07920	862,5	0,97651
728,5	1,31670	773,5	1,18560	818,5	1,07180	863,5	0,97851
729,5	1,31210	774,5	1,18310	819,5	1,06440	864,5	0,98051
730,5	1,30760	775,5	1,18010	820,5	1,05690	865,5	0,96691
731,5	1,30910	776,5	1,17710	821,5	1,05840	866,5	0,95331
732,5	1,31050	777,5	1,17420	822,5	1,05980	867,5	0,93972
733,5	1,31200	778,5	1,17220	823,5	1,06130	868,5	0,92612
734,5	1,30780	779,5	1,17010	824,5	1,06270	869,5	0,94081
735,5	1,30370	780,5	1,16810	825,5	1,06210	870,5	0,95550
736,5	1,29950	781,5	1,16610	826,5	1,06150	871,5	0,97018
737,5	1,29120	782,5	1,16040	827,5	1,06080	872,5	0,98487
738,5	1,28290	783,5	1,15470	828,5	1,06020	873,5	0,97556
739,5	1,27460	784,5	1,14900	829,5	1,05460	874,5	0,96625
740,5	1,27250	785,5	1,15020	830,5	1,04900	875,5	0,95695
741,5	1,27040	786,5	1,15150	831,5	1,04330	876,5	0,94764
742,5	1,26840	787,5	1,15270	832,5	1,03770	877,5	0,94560
743,5	1,27050	788,5	1,15400	833,5	1,03570	878,5	0,94355

Продолжение таблицы А.1

λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ′, нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2
879,5	0,94151	924,5	0,82586	969,5	0,77013	1014,5	0,70084
880,5	0,93947	925,5	0,82998	970,5	0,76922	1015,5	0,69881
881,5	0,93595	926,5	0,83410	971,5	0,76832	1016,5	0,69648
882,5	0,93243	927,5	0,83822	972,5	0,76593	1017,5	0,69415
883,5	0,92891	928,5	0,84234	973,5	0,76354	1018,5	0,69182
884,5	0,92539	929,5	0,84146	974,5	0,76115	1019,5	0,68949
885,5	0,92581	930,5	0,84057	975,5	0,75876	1020,5	0,68715
886,5	0,92624	931,5	0,83969	976,5	0,75637	1021,5	0,68753
887,5	0,92667	932,5	0,83881	977,5	0,75591	1022,5	0,68790
888,5	0,92709	933,5	0,83793	978,5	0,75545	1023,5	0,68828
889,5	0,92752	934,5	0,83597	979,5	0,75499	1024,5	0,68865
890,5	0,92240	935,5	0,83400	980,5	0,75452	1025,5	0,68903
891,5	0,91729	936,5	0,83204	981,5	0,75406	1026,5	0,68703
892,5	0,91217	937,5	0,83008	982,5	0,75191	1027,5	0,68503
893,5	0,90706	938,5	0,82812	983,5	0,74976	1028,5	0,68303
894,5	0,90342	939,5	0,82164	984,5	0,74760	1029,5	0,68103
895,5	0,89978	940,5	0,81515	985,5	0,74545	1030,5	0,67903
896,5	0,89614	941,5	0,80866	986,5	0,74356	1031,5	0,67647
897,5	0,89251	942,5	0,80218	987,5	0,74167	1032,5	0,67391
898,5	0,88837	943,5	0,80431	988,5	0,73979	1033,5	0,67134
899,5	0,88423	944,5	0,80644	989,5	0,73790	1034,5	0,66878
900,5	0,88009	945,5	0,80858	990,5	0,73601	1035,5	0,66621
901,5	0,87596	946,5	0,81071	991,5	0,73572	1036,5	0,66553
902,5	0,87182	947,5	0,81284	992,5	0,73542	1037,5	0,66484
903,5	0,87648	948,5	0,80906	993,5	0,73513	1038,5	0,66416
904,5	0,88114	949,5	0,80527	994,5	0,73484	1039,5	0,66347
905,5	0,88580	950,5	0,80149	995,5	0,73454	1040,5	0,66279
906,5	0,89046	951,5	0,79770	996,5	0,73270	1041,5	0,66110
907,5	0,88405	952,5	0,79392	997,5	0,73087	1042,5	0,65942
908,5	0,87764	953,5	0,79265	998,5	0,72903	1043,5	0,65774
909,5	0,87123	954,5	0,79139	999,5	0,72719	1044,5	0,65605
910,5	0,86483	955,5	0,79013	1000,5	0,72535	1045,5	0,65437
911,5	0,86649	956,5	0,78886	1001,5	0,72018	1046,5	0,65402
912,5	0,86815	957,5	0,78760	1002,5	0,71502	1047,5	0,65366
913,5	0,86981	958,5	0,78633	1003,5	0,70985	1048,5	0,65331
914,5	0,87147	959,5	0,78506	1004,5	0,70468	1049,5	0,65295
915,5	0,87313	960,5	0,78379	1005,5	0,69951	1050,5	0,65260
916,5	0,86820	961,5	0,78252	1006,5	0,70140	1051,5	0,65067
917,5	0,86326	962,5	0,78125	1007,5	0,70329	1052,5	0,64875
918,5	0,85833	963,5	0,77915	1008,5	0,70518	1053,5	0,64682
919,5	0,85339	964,5	0,77705	1009,5	0,70706	1054,5	0,64489
920,5	0,84788	965,5	0,77494	1010,5	0,70895	1055,5	0,64297
921,5	0,84238	966,5	0,77284	1011,5	0,70692	1056,5	0,64151
922,5	0,83687	967,5	0,77194	1012,5	0,70490	1057,5	0,64006
923,5	0,83137	968,5	0,77103	1013,5	0,70287	1058,5	0,63860

Продолжение таблицы А.1

λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2
1059,5	0,63714	1104,5	0,58139	1149,5	0,53391	1194,5	0,49425
1060,5	0,63569	1105,5	0,58075	1150,5	0,53292	1195,5	0,49337
1061,5	0,63423	1106,5	0,58012	1151,5	0,53232	1196,5	0,49249
1062,5	0,63289	1107,5	0,57948	1152,5	0,53171	1197,5	0,49161
1063,5	0,63155	1108,5	0,57885	1153,5	0,53111	1198,5	0,49073
1064,5	0,63021	1109,5	0,57724	1154,5	0,53050	1199,5	0,48985
1065,5	0,62887	1110,5	0,57563	1155,5	0,52990	1200,5	0,48811
1066,5	0,62752	1111,5	0,57403	1156,5	0,52929	1201,5	0,48637
1067,5	0,62535	1112,5	0,57242	1157,5	0,52647	1202,5	0,48463
1068,5	0,62318	1113,5	0,57081	1158,5	0,52365	1203,5	0,48289
1069,5	0,62101	1114,5	0,56963	1159,5	0,52082	1204,5	0,48115
1070,5	0,61884	1115,5	0,56845	1160,5	0,51800	1205,5	0,47941
1071,5	0,61667	1116,5	0,56727	1161,5	0,51517	1206,5	0,47772
1072,5	0,61656	1117,5	0,56609	1162,5	0,51469	1207,5	0,47603
1073,5	0,61644	1118,5	0,56492	1163,5	0,51421	1208,5	0,47434
1074,5	0,61633	1119,5	0,56355	1164,5	0,51373	1209,5	0,47265
1075,5	0,61621	1120,5	0,56219	1165,5	0,51325	1210,5	0,47097
1076,5	0,61610	1121,5	0,56083	1166,5	0,51277	1211,5	0,47184
1077,5	0,61387	1122,5	0,55947	1167,5	0,51229	1212,5	0,47272
1078,5	0,61164	1123,5	0,55810	1168,5	0,51195	1213,5	0,47360
1079,5	0,60941	1124,5	0,55674	1169,5	0,51161	1214,5	0,47448
1080,5	0,60718	1125,5	0,55548	1170,5	0,51127	1215,5	0,47536
1081,5	0,60495	1126,5	0,55421	1171,5	0,51093	1216,5	0,47624
1082,5	0,60402	1127,5	0,55294	1172,5	0,51059	1217,5	0,47509
1083,5	0,60308	1128,5	0,55168	1173,5	0,50984	1218,5	0,47395
1084,5	0,60215	1129,5	0,55041	1174,5	0,50909	1219,5	0,47281
1085,5	0,60121	1130,5	0,54956	1175,5	0,50834	1220,5	0,47166
1086,5	0,60028	1131,5	0,54870	1176,5	0,50760	1221,5	0,47052
1087,5	0,59934	1132,5	0,54785	1177,5	0,50685	1222,5	0,46934
1088,5	0,59657	1133,5	0,54700	1178,5	0,50610	1223,5	0,46817
1089,5	0,59380	1134,5	0,54614	1179,5	0,50451	1224,5	0,46700
1090,5	0,59103	1135,5	0,54430	1180,5	0,50292	1225,5	0,46582
1091,5	0,58826	1136,5	0,54246	1181,5	0,50133	1226,5	0,46465
1092,5	0,58549	1137,5	0,54061	1182,5	0,49973	1227,5	0,46348
1093,5	0,58724	1138,5	0,53877	1183,5	0,49814	1228,5	0,46266
1094,5	0,58900	1139,5	0,53693	1184,5	0,49739	1229,5	0,46184
1095,5	0,59075	1140,5	0,53508	1185,5	0,49664	1230,5	0,46102
1096,5	0,59250	1141,5	0,53564	1186,5	0,49589	1231,5	0,46020
1097,5	0,59425	1142,5	0,53620	1187,5	0,49514	1232,5	0,45938
1098,5	0,59193	1143,5	0,53675	1188,5	0,49439	1233,5	0,45871
1099,5	0,58961	1144,5	0,53731	1189,5	0,49437	1234,5	0,45804
1100,5	0,58729	1145,5	0,53787	1190,5	0,49435	1235,5	0,45736
1101,5	0,58497	1146,5	0,53688	1191,5	0,49432	1236,5	0,45669
1102,5	0,58266	1147,5	0,53589	1192,5	0,49430	1237,5	0,45602
1103,5	0,58202	1148,5	0,53490	1193,5	0,49427	1238,5	0,45534

Окончание таблицы А.1

λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2	λ', нм	$E_{\lambda'}$, Вт/м^2
1239,5	0,45422	1255,5	0,44195	1271,5	0,43437	1286,5	0,41633
1240,5	0,45310	1256,5	0,44162	1272,5	0,43344	1287,5	0,41968
1241,5	0,45198	1257,5	0,44129	1273,5	0,43250	1288,5	0,41951
1242,5	0,45085	1258,5	0,44096	1274,5	0,43157	1289,5	0,41933
1243,5	0,44973	1259,5	0,44064	1275,5	0,43063	1290,5	0,41916
1244,5	0,44940	1260,5	0,44031	1276,5	0,42970	1291,5	0,41899
1245,5	0,44906	1261,5	0,43926	1277,5	0,42524	1292,5	0,41882
1246,5	0,44872	1262,5	0,43821	1278,5	0,42078	1293,5	0,41865
1247,5	0,44839	1263,5	0,43716	1279,5	0,41633	1294,5	0,41776
1248,5	0,44805	1264,5	0,43612	1280,5	0,41187	1295,5	0,41686
1249,5	0,44771	1265,5	0,43507	1281,5	0,40742	1296,5	0,41597
1250,5	0,44663	1266,5	0,43495	1282,5	0,40296	1297,5	0,41508
1251,5	0,44554	1267,5	0,43484	1283,5	0,40630	1298,5	0,41418
1252,5	0,44445	1268,5	0,43472	1284,5	0,40965	1299,5	0,41351
1253,5	0,44337	1269,5	0,43460	1285,5	0,41299	1300,5	0,41285
1254,5	0,44228	1270,5	0,43449				

Библиография

[1] Resolution №7 of the XVII General Assembly of the IUGG in Canberra, December 1979

УДК 528.8:006.354

ОКС 35.240.70
49.140

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли из космоса, алгоритмы радиометрической коррекции, программное обеспечение

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.И. Попова*

Сдано в набор 30.11.2021. Подписано в печать 16.12.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,24

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru