

ГЛАВА 5. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ПЕРЕМЕННЫМИ ИЗ КОСМОСА

5.1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящей главе представлен обзор геофизических переменных, которые можно наблюдать из космоса, и характеристик, которые могут быть рассчитаны для вывода геофизических переменных. Характеристики рассчитываются на основе рассмотрения физического принципа, взятого для каждой методики измерения, и самой современной технологии прибора на момент написания настоящей главы и в обозримом будущем.

Используются допущения для получения метода, обеспечивающего репрезентативную оценку в каждом конкретном случае. Количественные данные не обязательно представляют реальные показатели работы конкретного прибора, но предназначены для иллюстрации относительных показателей различных методов дистанционного зондирования.

5.1.1 Уровни обработки данных

Для целей настоящего Руководства делается акцент на геофизических переменных, которые можно получить путем обработки полученных данных от одного прибора или комплекта взаимодействующих приборов. Для получения продукции могут использоваться сложные алгоритмы, физические или статистические модели и поддерживающая информация из внешних источников, либо дополнительная (необходимая для обработки), либо вспомогательная (для облегчения обработки). Настоящая глава посвящена продукции, которая может быть получена с использованием ограниченного количества информации из внешних источников, когда такая внешняя информация играет незначительную роль по сравнению с данными, полученными со спутникового прибора, и когда используемая модель не приносит значительную систематическую погрешность. Например, моделирование физического явления, управляющего переменной, модели радиационного переноса и модели инверсионного извлечения информации относятся к вопросам, рассматриваемым в этой главе. За рамками настоящей главы остаются, например, вопросы усвоения информации, полученной от слияния данных нескольких измерений, и фоновых полей, которые объединяют физические процессы явления и динамические характеристики модели таким образом, что вклад спутника в выходную продукцию едва различим.

В этой главе будут рассматриваться вопросы продукции уровня 2 и некоторых видов продукции уровней 3 и 4, для выпуска которых существует хорошо отработанная и общепризнанная методология (см. уровни обработки, установленные в [таблице 2.11](#), раздел 2.3.2.6, глава 2 настоящего тома).

5.1.2 Качество продукции

Для полученных со спутника изображений, используемых напрямую для их интерпретации человеком, можно рассмотреть несколько критериев качества; они включают в себя пространственную разрешающую способность, точность геолокации, сохранение точности после калибровки для всех последовательных изображений или, в случае композитного изображения с цветопередачей в формате КЗГ (красный-зеленый-голубой), стабильность цвета в представлении заданных свойств в пределах наблюдаемой области. Эти компоненты качества продукции в формате изображений в дальнейшем не рассматриваются в настоящей главе.

В данной главе мы пытаемся рассмотреть вопросы, относящиеся к качеству количественных видов продукции с числовыми данными, которые могут использоваться в автоматизированных процедурах и численных моделях. Эту оценку затем можно будет сравнить с требованиями, предъявляемыми к тем же видам продукции.

Качество продукции здесь определяется следующими параметрами:

- a) атмосферный объем (для вертикальных профилей);
- b) горизонтальная разрешающая способность (Δx);
- c) вертикальная разрешающая способность (Δz) (для вертикальных профилей);
- d) цикл наблюдений (Δt);
- e) точность (погрешность);
- f) своевременность (δ).

5.1.2.1 **Атмосферные объемы (относятся к наблюдениям в трехмерном (3D) измерении)**

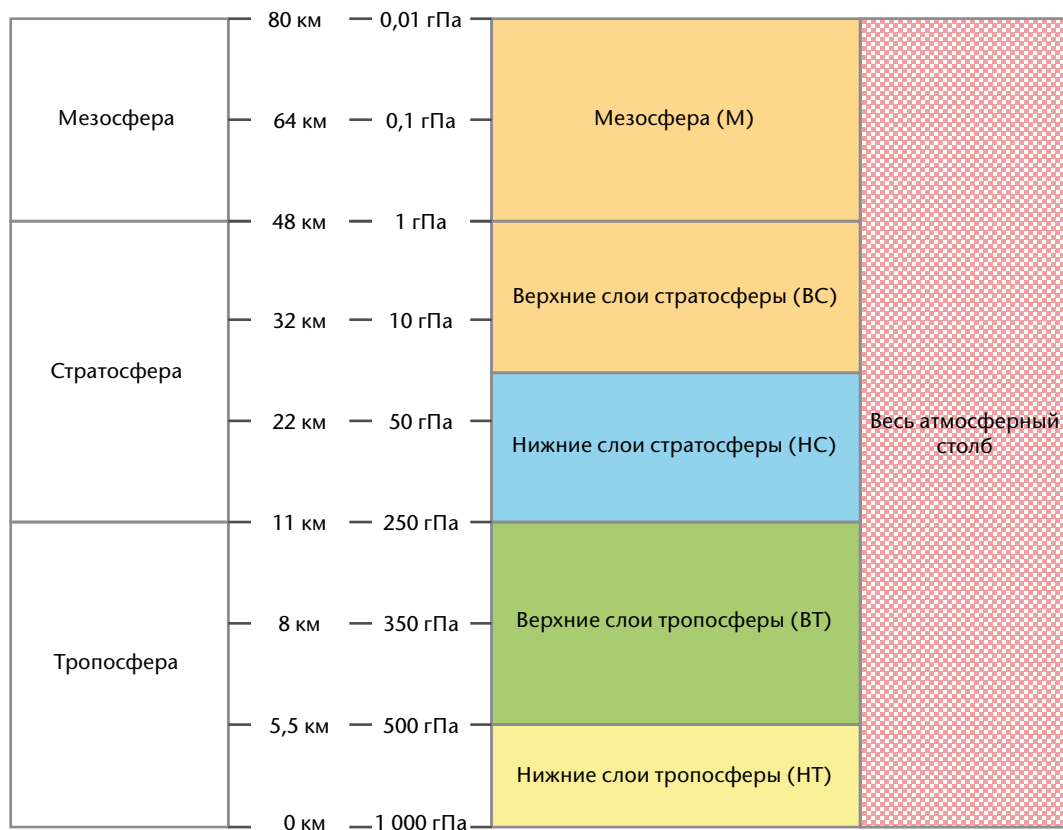
Требования пользователей могут различаться, в зависимости от наблюдаемого слоя атмосферы. На рисунке ниже представлены определения атмосферных объемов, используемых в базе данных ВМО по требованиям к наблюдениям.

В то время как требования пользователей могут меняться скачкообразно, по мере продвижения вдоль вертикали, качество спутниковой продукции меняется с высотой постепенно, в зависимости, главным образом, от вертикального градиента количества, с более точными характеристиками при достижении более высоких градиентов. Шаг изменения происходит тогда, когда невозможно достичь требуемого вертикального разрешения с помощью надирных сканирующих приборов, и становится необходимым использовать лимбовое сканирование. Ради упрощения часто рассматриваются различные характеристики продукции для тропосферы, стратосферы и всего атмосферного столба (в соответствующих случаях). Нередко происходит так, что качество будет постепенно снижаться с увеличением высоты в тропосфере, и то же самое будет происходить в стратосфере. Качество продукции приводится только для высоты выше 1 км; ниже 1 км точность слишком изменчива и ее трудно оценить.

5.1.2.2 **Горизонтальная разрешающая способность**

Горизонтальная разрешающая способность (Δx) является сверткой обобщенных функций нескольких характеристик (разрешающая способность замера; степень независимости информации, относящейся к ближайшим замерам; аппаратная функция оптического прибора и др.). Для упрощения обычно принимается разрешающая способность замера, соответствующая значению, расположенному между двумя последовательно полученными значениями продукции, несущими в себе независимую информацию.

Горизонтальная разрешающая способность измеряемой геофизической переменной обусловлена характеристиками прибора (в первую очередь IFOV), разрешающей способностью замера или пикселем, и функцией передачи модуляции) и схемой обработки, которая может быть подобрана таким образом, чтобы учитывать эффект интерференции (такого как влияние облачности в IFOV). К примеру, если облачность не дает провести достоверное измерение, может быть, целесообразно обработать множество пикселей с целью экстраполяции менее искаженных измерений в ячейке размером Δx . Число пикселей, которые подлежат одновременной обработке, зависит от спектрального диапазона, используемого для проведения измерения (вплоть до единицы для всепогодных микроволновых радиоизлучений, к примеру),



Атмосферные объемы в соответствии с определениями пользователей. Верхние слои стратосферы и мезосфера (ВС и М) объединены. Высоты и давление выражены в качественной форме и относятся к средним широтам/среднегодовое значение. Планетарный пограничный слой является частью нижних слоев тропосферы.

и от имеющейся спектральной информации (когда имеется больше спектральных каналов, необходимо брать меньшее скопление пикселей). Экстремальным является случай, когда требуется большое количество пикселей (32 x 32, к примеру) для описания геофизической переменной (примером является возмущающее воздействие векторов циркуляции атмосферы от замещения пикселей высоко коррелированных облачных массивов на двух изображениях, полученных в разное время).

Для таких параметров, как «облачный покров» или «снежный покров», необходимо достичь достаточного числа замеров (пикселей) в ячейке размером $\Delta x \cdot \Delta x$ с целью получения нужной точности. Для приземных измерений медленно изменяющихся переменных (таких как снег) при наличии облачности может понадобиться применить динамический анализ, что предполагает исчезновение облачности из сектора обзора (это уже будет продукция уровня 3). Обычно в процессе производства продукции можно выбрать, с определенными ограничениями, оптимальное соотношение горизонтального разрешения и точности. Часто горизонтальная разрешающая способность продукции выше одного пикселя для того, чтобы улучшить ОСШ и удовлетворить требования к точности продукции.

Для надирных сканирующих приборов IFOV прибора или размер пикселя получаются больше подспутниковой точки в направлении к краям полосы захвата; характеристика горизонтального разрешения продукции должна быть поэтому усреднена по всей ширине полосы захвата прибора.

Для конических сканеров разрешающая способность в направлении луча сканирования остается неизменной, но разрешающая способность поперечного сканирования ухудшается на величину функции косинуса азимутального угла (IFOV имеет форму, близкую к эллипсу). Обязательно необходимо принимать во внимание среднее

квадратическое отклонение для поперечного и продольного направлений сканирования, и принимать в расчет вытянутость IFOV вдоль направления сканирования, обусловленную перемещением линии сканирования в течение времени интегрирования результатов измерения. Если используется одна антенна для нескольких частот, из-за дифракции разрешающая способность будет меняться в зависимости от частоты.

Для лимбового зондирования горизонтальная разрешающая способность определяется геометрией сектора обзора. Траектория сканирования в атмосфере может физически простирается на несколько тысяч километров, но эффективная траектория (которая учитывает более высокую атмосферную плотность вокруг высоты по касательной) составляет около 300 км в направлении сканирования. Поперек сектора обзора, несмотря на то, что IFOV может быть значительно более узким (десятки километров), разрешающая способность продукции определяется числом азимутальных обзоров (в большинстве случаев только один, в направлении вперед или назад). Ради упрощения мы принимаем 300 км в качестве обычной разрешающей способности по горизонтали для лимбовых измерений.

5.1.2.3 **Вертикальная разрешающая способность**

Вертикальная разрешающая способность (Δz) также определяется путем выбора разрешающей способности замера, соответствующей значению, расположенному между двумя последовательно полученными значениями продукции, несущими в себе независимую информацию.

Вертикальная разрешающая способность продукции зависит от принципа работы измерительного датчика, спектрального диапазона прибора и числа каналов или спектральной разрешающей способности. Весовая функция может быть более или менее расширенной по вертикали в зависимости от спектральной разрешающей способности и диапазона (хуже в МКВ) и лучше в оптическом диапазонах). Кроме того, спектральные каналы могут быть достаточно узкими для различения отдельных линий поглощения/эмиссии газа, или нескольких линий или полос линий. Если несколько линий входят в канал, весовая функция будет расширена, поскольку она будет усреднять поверхностную эмиссию между линиями (образуя максимумы в нижних слоях атмосферы) и атмосферную эмиссию в линиях (образуя максимумы на больших высотах). В целом, разрешающая способность $\lambda/\Delta\lambda \approx 100$ позволяет извлекать вертикальные профили температуры с вертикальным разрешением около 2 км; $\lambda/\Delta\lambda \approx 1\,000$ позволяет получить более высокую разрешающую способность около 1 км по вертикали для профиля температуры, наряду с получением данных о малых газовых составляющих атмосферы по всему атмосферному столбу в целом; $\lambda/\Delta\lambda \approx 10\,000$ требуется для построения профиля распределения малых газовых составляющих атмосферы. Плотность газа оказывает влияние на достижимую вертикальную разрешающую способность, поскольку с возрастанием высоты вертикальная разрешающая способность измерения ухудшается.

Следует отметить, что весовая функция смещается к большим высотам по мере того, как угол обзора прибора смещается от надира к краю полосы обзора. Это происходит из-за более протяженного сканирующего луча, проходящего сквозь атмосферу с увеличивающимся углом обзора. Коэффициент пропускания есть экспоненциальная функция (степенная зависимость) числа поглощающих молекул на пути испускаемого излучения; более острый угол обзора влечет за собой большую вероятность столкновения на пути с большим числом молекул в верхних слоях атмосферы и, таким образом, весовая функция движется вверх с высотой.

Вертикальная разрешающая способность зависит от чувствительности длины волны к температуре. Чувствительность инфракрасных (ИК) волн к температуре выше в СДИК (примерно 3–6 мкм), поэтому весовые функции более узкие в нижних слоях тропосферы и очень широкие в верхних слоях тропосферы и стратосфере. Короткие волны менее чувствительны к температуре, поэтому вертикальная разрешающая способность остается

относительно однородной с увеличением высоты. В соответствии со спектральной формулой Планка МКВ относительно более чувствительны к низким температурам и вертикальная разрешающая способность относительно хорошая в стратосфере.

В стратосфере и выше вертикальная разрешающая способность, достигаемая при надирном сканировании неудовлетворительная. Лимбовое сканирование предлагает более высокую вертикальную разрешающую способность; она определяется механическим сканированием вдоль вертикали (угловой IFOV в сочетании со скоростью сканирования) и находится в диапазоне от 1 до 3 км (что недостижимо при надирном сканировании). Вертикальная разрешающая способность, достигаемая при лимбовом зондировании, ухудшается с высотой, поскольку отношение ОСШ ухудшается по мере уменьшения концентрации газа. Приборы для затменных наблюдений (включая радиозатменные) имеют вертикальную разрешающую способность, определяемую скоростью проведения замеров в течение фазы затмения. Во время обработки данных на земле алгоритм расчета выполняет вычисление интеграла для того, чтобы найти компромиссное решение в отношении точности продукции.

5.1.2.4 **Цикл наблюдений**

Цикл наблюдений (Δt) определяется как время, необходимое для достижения глобального охвата (для НОС) или полного охвата диска (для ГСО). Он тесно связан с потенциальными сканирующими возможностями прибора и особенностями орбиты. Связь между циклом наблюдений и механизмом сканирования подробно рассмотрена в главе 3, 3.1.1, настоящего тома. Однако цикл наблюдений прибора может не совпадать с циклом наблюдений для продукции, поскольку не все измерения, совершенные во время цикла наблюдений прибора, могут быть использованы для подготовки нужной продукции. Например, отображенная продукция для ясного неба может демонстрировать слишком много пробелов из-за измерений, подверженных воздействию облачности. Таким образом, эффективный цикл наблюдений для продукции является компромиссом между минимальным теоретически возможным циклом наблюдений, который может иметь много пробелов, и динамическим анализом, ухудшающим цикл наблюдений для продукции, но продуцирующим более правильное поле продукции (образованное процессом уровня 3). Компромиссное решение учитывает чувствительность спектрального диапазона к дестабилизирующему фактору и характерную временную изменчивость измеряемого геофизического параметра (которая может не позволять задержки, обусловленные динамическим анализом). В другом примере динамический анализ может быть необходим для улавливания достаточного сигнала, когда возникает проблема с достижением требуемой точности продукции.

Для большинства метеорологических переменных требуемый цикл наблюдений не допускает динамического анализа. Решение находится на системном уровне, за счет достижения определенного числа спутников, осуществляющих измерения геофизических переменных. Глобальный цикл наблюдений короче, чем 12 ч (для измерений в ИК и МКВ диапазонах) или 24 ч (для измерений с использованием КВ), требует большего числа спутников, расположенных на орбите на равном расстоянии друг от друга. Для 3-х часового цикла необходимо иметь четыре спутника при условии, что полоса захвата прибора такая обширная как максимальная разность углов обзора (например, изображения в ВИД/ИК частях спектра). Для приборов с ограниченной полосой захвата (таких как МКВ-радиометры на космических аппаратах Программы глобальных измерений осадков) 3-х часовой цикл требует использования восьми спутников.

Цикл наблюдений может быть сокращен за счет глобального охвата с использованием орбиты с малым углом наклона. Пределом является $\Delta t < \text{одного орбитального периода}$ для движения по квази-экваториальной орбите с востока на запад. Широты, расположенные за пределами полосы захвата прибора, не будут охвачены наблюдениями.

Для спутников на ГСО цикл наблюдений зависит от цикла обновления прибора. Это могут быть минуты, если измерения не подвержены воздействию облачности, в противном случае может потребоваться динамический анализ. Группировка из шести спутников,

расположенных на геостационарной орбите на равном удалении друг от друга, обеспечивает покрытие всех широт ниже 55° , возрастаая до 70° и выше на долготах, близких к местоположению шести спутников на ГСО.

Приборы только с надирным обзором (не сканирующие) обеспечивают нечастый глобальный охват. Приборы с лимбовым сканированием, включая радиозатменные, имеют тот же недостаток (см. 3.1.1, глава 3 настоящего тома). Для таких приборов трудно определить цикл наблюдений.

5.1.2.5 Точность (неопределенность)

Точность определяется как «близость к соответствию между измеренным количественным значением и фактическим количественным значением измеряемой величины» (*Международный словарь метрологии — Базовые и общие концепции и соответствующие понятия* (МСМТ), Объединенный комитет по руководствам в метрологии (ОКРМ) 200: 2012). По сути, точность представляет собой качественное понятие, тогда как количественное выражение, соответствующее точности, является неопределенностью (см. том I, глава 1, 1.6.2). Это общий результат нескольких характеристик прибора: случайной ошибки, систематической погрешности, чувствительности, повторяемости и т. п. В настоящем томе (наблюдения из космоса) неопределенность в целом характеризуется диапазоном среднеквадратической ошибки (СКО), а именно разницы СКО (измеренное — фактическое значения) измерения. Неопределенность полученного со спутника результата измерения геофизической переменной обусловлена физическим принципом, связывающим спутниковое измерение с наблюдаемой переменной, и особенно чувствительностью измерения к изменчивости этой переменной. При проведении космических наблюдений точность обычно выражается количественно как среднеквадратическое отклонение, но не учитывает конкретное статистическое распределение различий относительно истинных значений, прослеживаемых до Международной системы единиц (СИ). Особое внимание следует уделить методам, используемым для определения любого значения неопределенности, всем задействованным составляющим общей оценки погрешности измерения, выбранному доверительному интервалу (обычно 68 % вместо необходимых 95 %; см. п. 1.6.2, глава 1, том I) и способам обеспечения прослеживаемости до СИ.

Всегда присутствует компромисс между пространственным, радиометрическим и спектральным разрешением. Высокое пространственное разрешение означает низкий IFOV и низкое радиометрическое разрешение. Для получения относительно высокого пространственного разрешения и высокого радиометрического разрешения необходимо снизить спектральное разрешение. Таким образом, радиометрическая разрешающая способность является основным фактором неопределенности, поскольку от нее зависит сила как сигнала, так и шума наблюдения. Эти величины определяют эквивалент шума, соответствующий разности температуры или отношение сигнал-шум либо спектральную плотность энергетической яркости, эквивалентную шуму, с учетом определения, приведенного в п. 3.1.4, глава 3 настоящего тома. Однако неопределенность продукции также подвержена сильному воздействию со стороны алгоритма вычисления и компромисса в отношении других характеристик качества (Δx , Δz и Δt). Более того, характер исследуемой цели (интенсивность излученного или рассеянного сигнала), чувствительность метода зондирования к геофизической переменной и эффективность отфильтровывания дестабилизирующих факторов (таких как облака) имеют ярко выраженное воздействие на итоговую неопределенность продукции.

Для нового прибора необходимо проводить исследования чувствительности на основе сложного численного моделирования для получения оценки неопределенности.

В этом настоящем томе неопределенность продукции оценивается на основе имеющихся данных о прошлых и современных приборах, а также численного моделирования запланированных к использованию приборов. Проверка точности продукции, полученной

с помощью спутников (рассматривается в [главе 6](#) настоящего тома), является составной частью оценки неопределенности для прошлых и современных приборов; для будущих приборов проводятся теоретические расчеты.

5.1.2.6 **Своевременность**

Своевременность (δ_t) определяется как время, прошедшее от момента осуществления измерения до получения продукции, при условии штатного режима деятельности. Своевременность зависит от средств спутниковой связи, наличия станций усвоения данных, времени обработки данных, необходимого для подготовки продукции, и общей системы управления данными.

В настоящем Руководстве не проводится оценка своевременности δ_t различной продукции, потому что это системная характеристика, которая не определяется только конкретным прибором.

5.1.3 **Оценка качества спутниковой продукции**

В настоящей главе представлен обзор спутниковой продукции, которая потенциально может быть извлечена в результате применения имеющихся или планируемых к использованию приборов для измерения геофизических переменных в следующих восьми тематических разделах:

- a) основные атмосферные (3D и 2D измерения)
- b) облака и атмосферные осадки
- c) аэрозоли и радиация
- d) океан и морской лед
- e) поверхность суши (включая снег)
- f) твердая оболочка Земли
- g) химический состав атмосферы
- h) космическая погода

Этот перечень продукции, полученной в результате наблюдений, ограничен «первичными» геофизическими переменными, и не включает в себя продукцию, которая может быть извлечена из другой продукции.

Для каждого вида спутниковой продукции указываются применяемые методы дистанционного зондирования наряду с условиями наблюдений или ограничениями. В приложении к настоящей главе приводится оценка достижимого качества продукции в отношении среднеквадратической ошибки¹ (СКО), Δx , Δz и Δt , основанная на характеристиках самых современных приборов, разрабатываемых на момент написания данного Руководства, и которые, как ожидается, начнут оперативно использоваться к 2020 г.

¹ Необходимо отметить, что среднеквадратическая ошибка (СКО), используемая в этом томе Руководства, соответствует приблизительно расширенной неопределенности с коэффициентом покрытия $k = 1$, в то время как в остальных разделах настоящего Руководства обычно применяется коэффициент покрытия $k = 2$ (см. том I, глава 1, 1.6.3.3 и *Оценка данных измерений — Руководство для представления погрешности измерений* (ОКРМ 100:2008)). Использование $k = 2$ объясняется в [томе I](#), глава 1, п. 1.6.2. Оно соответствует международным стандартам, утвержденным Международным комитетом мер и весов (МКМВ), см. [Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО](#) (ВМО-№ 1160), п. 2.3.1.3.

5.2 ОСНОВНЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ, НАБЛЮДАЕМЫЕ В ДВУХ- И ТРЕХМЕРНОМ ИЗМЕРЕНИЯХ (2D И 3D)

В таблице 5.1 перечислены основные атмосферные переменные для использования при подготовке прогноза погоды, включая ЧПП, которые могут наблюдаться из космоса.

Другие основные переменные, такие как атмосферное давление, температура и влажность на поверхности; а также вертикальный компонент ветра не включены в таблицу, потому что они не могут быть надежно измерены из космоса с помощью современных технологий.

Таблица 5.1. Геофизические переменные, рассматриваемые в тематическом разделе «Основные атмосферные (3D и 2D) переменные»

Температура атмосферного воздуха	Ветер и профиль ветра (горизонтальные компоненты вектора ветра)	Высота верхней границы планетарного пограничного слоя	Высота тропопаузы
Удельная влажность воздуха	Ветер как вектор над поверхностью (горизонтальный)	Температура тропопаузы	

5.2.1 Температура атмосферного воздуха

Определение: трехмерное поле температуры воздуха в атмосфере — требуется измерение от поверхности до верхней границы атмосферы (ВГА) (слои атмосферы: НТ, ВТ, НС, ВС и М) — физическая единица измерения: кельвин (К) — единица неопределенности: К.

Метод 1: ИК-спектрометрия — принцип: измерение ИК-излучения от различных слоев атмосферы, определяемого с помощью использования спектральных интервалов различной внутрислоевой интенсивности поглощения CO_2 (~4,3 мкм и ~15 мкм). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: МКВ/субмиллиметровая радиометрия — принцип: измерение МКВ и субмиллиметрового излучения волн от различных слоев атмосферы, определяемого с помощью использования спектральных интервалов различной внутрислоевой интенсивности поглощения O_2 (~54, 118 и потенциально 425 ГГц). Применяется как на НОО, так и потенциально на ГСО.

Метод 3: ГНСС (состоящая из ГСОН и Российской навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС — принцип: измерение рефракции в атмосфере сигналов частот L-диапазона от Глобальной навигационной спутниковой системы, принимаемых спутниками на НОО во время фазы затмения. Применяется только на НОС.

Метод 4: лимбовое зондирование — принцип: измерение излучения линиями поглощения (в ИК- и МКВ-диапазонах) или увеличения линий (в КВ) согласно наблюдениям с помощью спектрометров с высокой разрешающей способностью, предназначенных для изучения химического состава атмосферы при наблюдении края диска Земли. Применяется только на НОС.

5.2.2 Удельная влажность воздуха

Определение: трехмерное поле удельной влажности воздуха (т.е. отношение массы водяного пара к массе влажного воздуха) в атмосфере — требуется измерение от поверхности до ВГА (слои атмосферы: НТ, ВТ, НС, ВС и М) + весь атмосферный столб — физическая единица измерения: г/кг для слоев, кг/м² для всего столба — единица неопределенности: % для слоев, кг/м² для всего столба.

Метод 1: ИК спектроскопия — принцип: измерение ИК-излучения от различных слоев атмосферы, определяемого с помощью использования спектральных интервалов различной внутриполосной интенсивности поглощения H_2O (~6 мкм и потенциально ~18 мкм) с поддержкой измерений CO_2 . Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: МКВ/субмиллиметровая радиометрия — принцип: измерение МКВ и субмиллиметрового излучения волн от различных слоев атмосферы, определяемого с помощью использования спектральных интервалов различной внутриполосной интенсивности поглощения H_2O (183 и потенциально 324, 380 ГГц и другие на более высоких частотах) с необходимой поддержкой O_2 (~54, 118 и потенциально 425 ГГц). Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

Метод 3: радиозатменные измерения с помощью ГНСС — принцип: измерение рефракции в атмосфере сигналов частот L-диапазона от ГНСС, принимаемых спутниками на НОО во время фазы затмения. Применяется только на НОС.

Метод 4: ЛДП — принцип: измерение рассеянного обратного излучения в БИК диапазоне поглощения водяного пара (к примеру ~935 нм) и боковом окне с помощью ЛДП. Применяется только на НОС.

Метод 5: лимбовое зондирование — принцип: излучение (в ИК или МКВ/субмиллиметровом диапазонах), поглощение (КВ-диапазон при солнечном или звездном затмении) или рассеяние (в КВ-диапазоне) линиями поглощения, наблюдаемое с помощью спектрометров с высокой разрешающей способностью, предназначенных для изучения химического состава атмосферы при наблюдении края диска Земли. Применяется только на НОС.

Метод 6: ИК разделенное окно — принцип: получение побочного продукта извлечения температур на поверхности из ИК-изображений (разделенные окна, такие как 11 и 12 мкм). Применяется только для всего атмосферного столба. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 7: формирование МКВ-изображений (23 ГГц) — принцип: измерение МКВ-излучения в диапазоне слабого излучения H_2O (~23 ГГц), связанном с близлежащим окном (19 или 37 ГГц). Метод пригодный только для всего атмосферного столба над морем. Применяется как на НОС, так и потенциально на ГСО.

Метод 8: формирование БИК-изображений (935 нм) — принцип: измерение дифференциальной отражательной способности между БИК полосой поглощения водяного пара (к примеру ~935 нм) и боковым окном узкополосными радиометрами. Пригодный только для всего атмосферного столба. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.2.3 Профиль ветра (горизонтальные компоненты вектора ветра — U и V)

Определение: глобальные профили ветра горизонтальных векторных компонент (2D) вектора ветра в 3D — требуется измерение от поверхности до ВГА (слои атмосферы: НТ, ВТ, НС, ВС и М) — физическая единица измерения: м/с — единица неопределенности: м/с.

Метод 1: доплеровский лидар — принцип: прямые измерения горизонтальных профилей ветра с помощью лазерных импульсов, отражаемых молекулами воздуха, а также аэрозольных и облачных частиц, отслеживаемых с помощью доплеровского эффекта рассеянного света вдоль линии прямой видимости лазерного луча. Применяется только на НОС.

Метод 2: ВИД/ИК последовательности изображений — принцип: векторы атмосферного движения (ВАД) извлекаются из ИК/ВИД спутниковых изображений посредством отслеживания особенностей облачности и распределения водяного пара в идущих друг за другом последовательностях изображений. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 3: ИК зонд — принцип: трехмерные профили ветра извлекаются из движения, обнаруженного в полях влажности и озона, получаемых с помощью приборов ИК зонда. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 4: ВИД/ИК изображения с изменяющейся геометрией — принцип: для определения высоты атмосферных особенностей с помощью нескольких изображений используется параллакс. Дополнительно учитывается небольшая разница во времени, чтобы сделать вывод о смещении. Особенности могут быть обусловлены облаками и аэрозолями, распознаваемыми и отслеживаемыми на последовательно полученных изображениях в ВИД/ИК-диапазонах. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 5: лимбовое зондирование — принцип: измерение доплеровского смещения и увеличения спектральных линий поглощения O_2 , O_3 , OH^- , наблюдаемых с помощью ВИД спектрометров с высокой разрешающей способностью при наблюдении края диска Земли в ВС и М. Применяется только на НОС.

5.2.4 Ветер как вектор над поверхностью (горизонтальный)

Определение: горизонтальные векторные компоненты (2D) трехмерного вектора ветра, обычно измеряемые на высоте 10 м — требуется измерение над поверхностью моря или суши (все указанные ниже методы применяются над морем). Физическая единица измерения: м/с — единица неопределенности: м/с.

Метод 1: радиолокационная скаттерометрия — принцип: измерение радиации обратного рассеяния от капиллярных волн среднечастотным радиолокатором (примерно от 1 до 15 ГГц). Используются более широкие углы обзора для определения направления. Применяется только над морем. Применяется только на НОС.

Метод 2: поляризметрическая МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ-радиации в атмосферных окнах на нескольких частотах (например 10, 19, 37 ГГц). Три параметра Стокса должны измеряться (например, минимум четыре поляризации), по возможности четыре повышения (требующих шесть поляризаций). Применяется только над морем. Направление ветра только выше 8 м/с. Применяется только на НОС.

Метод 3: формирование МКВ-изображений — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ-радиации в атмосферных окнах на нескольких частотах (таких как 1,4, 10, 19, 37 ГГц). Необходимо, по крайней мере, две поляризации. Применяется только над морем. Измеряется только скорость. Применяется только на НОС.

Метод 4: радиолокационная альтиметрия — принцип: измерение обратной рассеянной радиации от поверхности моря с помощью среднечастотного радиолокатора (~13 ГГц). Скорость ветра связана с отраженными волнами, рассеянными от капиллярных волн. Применяется только над морем. Измеряется только скорость. Только в надире. Применяется только на НОС.

Метод 5: ГНСС-Р — принцип: отраженные сигналы возможности от спутников ГНСС, которые далее рассеиваются от поверхности моря, выражают местную скорость ветра в зеркальной точке. Применяется только над морем. Измеряется только скорость. Применяется только на НОС.

5.2.5 **Высота верхней границы планетарного пограничного слоя**

Определение: высота поверхности, разделяющей планетарный пограничный слой от свободной атмосферы — физическая единица измерения: км — единица неопределенности: км.

Метод 1: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ или ВИД-или БИК-диапазонах спектра с помощью лидара. Применяется только на НОС.

Метод 2: от ИК зондирования — принцип: производная от ИК зондирования температуры и влажности. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 3: от зондирования ГНСС — принцип: производная от ГНСС радиозатменного зондирования температуры и влажности. Применяется только на НОС.

5.2.6 **Высота тропопаузы**

Определение: высота поверхности, разделяющей тропосферу от стратосферы — физическая единица измерения: км — единица неопределенности: км.

Метод 1: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в ультрафиолетовом (УФ) или ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Предпочтительно измерения проводить на двух длинах волн. Применяется только на НОС.

Метод 2: от ИК зондирования — принцип: производная от ИК зондирования температуры и влажности. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 3: от зондирования ГНСС — принцип: производная от ГНСС радиозатменного зондирования температуры. Применяется только на НОС.

5.2.7 **Температура тропопаузы**

Определение: температура воздуха в атмосфере на высоте поверхности, разделяющей тропосферу от стратосферы — физическая единица измерения: К — единица неопределенности: К.

Метод 1: от ИК зондирования — принцип: производная от ИК зондирования температуры. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: от зондирования ГНСС — принцип: производная от ГНСС радиозатменного зондирования температуры. Применяется только на НОС.

Метод 3: от лимбового зондирования — принцип: производная от лимбового зондирования температуры. Применяется только на НОС.

5.3 **ПЕРЕМЕННЫЕ ОБЛАКОВ И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ**

Этот тематический раздел включает в себя переменные, наблюдаемые из космоса для целей текущего анализа метеорологических условий, краткосрочного предсказания погоды и прогнозирования текущей погоды, а также для целей гидрологии. В таблице 5.2 перечислены эти переменные.

Таблица 5.2. Геофизические переменные, рассматриваемые в тематическом разделе «Переменные облаков и атмосферных осадков»

Температура вершины облака	Высота нижней границы облака	Лед в облаке	Атмосферные осадки (в жидкой или твердой фазе)
Высота вершины облака Вертикальная протяженность облака	Оптическая глубина облака	Эффективный радиус льда в облаке	Интенсивность осадков на поверхности (в жидкой или твердой фазе)
Вид облака	Вода в жидкой фазе в облаке	Высота нулевой изотермы в облаке	Суммарные осадки (за 24 часа или с другой периодичностью менее суток)
Облачный покров	Эффективный радиус капель воды в облаке	Толщина слоя таяния льда в облачности	Обнаружение молний

5.3.1 Температура вершины облака

Определение: температура верхней поверхности облака — физическая единица измерения: К — единица неопределенности: К.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: производная от формирования ИК-изображения на ряде каналов, включая «окна» и другие каналы (на полосах поглощения водяного пара), необходима для оценки излучающей способности облака. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: от ИК зондирования — принцип: производная от измерений спектрального ИК излучения. Измерение излучений (радиоярких температур) на различных длинах волн позволяет извлечь температуру верхнего слоя облачности в пределах наблюдаемого IFOV. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.3.2 Высота вершины облака

Определение: высота верхней поверхности облака — физическая единица измерения: км — единица неопределенности: км.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: производная от спектральных излучений (обычно от изображений, использующих спектральные каналы на 11 и 13,4 или 6,7 мкм). Методы называются слоированием в канале CO₂ или методом перехвата водяного пара. Значение давления на уровне вершины облака или его высота выводятся с помощью профиля прогнозируемой температуры. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: от ИК зондирования — принцип: величина, полученная как побочный продукт от зондирования температуры/влажности, извлекаемый из ИК спектроскопии. Различный перенос энергии излучением на различных длинах волн позволяет извлечь высоту вершины облака в пределах IFOV зондирования. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 3: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ- или ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Предпочтительно измерения проводить на двух длинах волн. Применяется только на НОС.

Метод 4: радиолокатор для изучения облачности — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в МКВ диапазоне (~94 ГГц) с помощью радиолокатора. Применяется только на НОС.

Метод 5: спектроскопия диапазона А — принцип: измерение колоннообразного O_2 (протяженность поглощения) над вершиной облака с помощью спектроскопии диапазона А на волне 760 нм и вблизи «окна». Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 6: стерео — принцип: изображения облаков, сделанные практически одновременно с нескольких углов, позволяют оценить высоту облаков над поверхностью за счет использования параллакса. В принципе метод применим к любому спектральному наблюдению и любому сочетанию НОС и ГСО.

5.3.3 Вертикальная протяженность облака

Определение: вертикальная протяженность, выраженная как температура, высота или давление верхней поверхности облака — физическая единица измерения: км, К или гПа — единица неопределенности: км, К или гПа. Примечание: следует учитывать, что геометрическая толщина облака, вычисленная по данным пассивного дистанционного зондирования со спутников, не очень точна.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: производная от формирования ИК-изображения на ряде каналов, включая «окна» и другие каналы (на полосах поглощения водяного пара), необходима для оценки излучающей способности облака. Измеряемым свойством может быть температура, высота или давление. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: ИК-радиометрия — принцип: производная от многочисленных наблюдений в ИК диапазоне в полосах поглощения CO_2 или H_2O . Обычно называется методом слоирования или перехвата. Измеряемым свойством может быть температура, высота или давление. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 3: от ИК зондирования — принцип: величина, рассчитанная как побочный продукт от зондирования температуры/влажности, извлекаемый из ИК спектроскопии. Различный перенос энергии излучением на различных длинах волн позволяет извлечь высоту вершины облака в пределах IFOV зондирования. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 4: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Предпочтительно проводить измерения на двух длинах волн. Применяется только на НОС.

Метод 5: радиолокатор для изучения облачности — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в МКВ диапазоне (~94 ГГц) с помощью радиолокатора. Применяется только на НОС.

Метод 6: спектроскопия диапазона А — принцип: измерение колоннообразного недостатка O_2 над вершиной облака с помощью спектроскопии диапазона А на волне 760 нм и вблизи «окна». Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 7: Стерео — принцип: изображения облаков, сделанные под несколькими углами практически одновременно, позволяют оценить высоту облаков над поверхностью за счет использования параллакса. Применим к любому спектральному наблюдению и любому сочетанию НОС и ГСО.

5.3.4 Вид облаков

Определение: комплексные характеристики наблюдаемого облака. Перечень интересующих видов определяется заранее — неопределенность выражается как число дискриминантных видов (классов).

Метод 1: радиометрия ВИД/ИК-диапазонов — принцип: проведение мультиспектрального анализа отражающей способности облака, температуры поверхности его вершины, оптической глубины, излучающей способности, яркостных температур облака и их

пространственно-временных характеристик позволяет классифицировать облака по видам в зависимости от их фазы, размера капель, на различном фоне, измеренных на нескольких дискретных каналах в относительно широком частотном диапазоне ($5\text{--}10\text{ см}^{-1}$). Позволяет получить информацию о распределении льда/воды, непрозрачности и вертикальной структуре (однослойная/многослойная). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: производные свойства облаков по данным ВИД/ИК радиометрии — принцип: анализ непрозрачности, микрофизики, вертикальной протяженности и пространственной текстуры облака позволяет оценивать традиционные метеорологические виды облаков, такие как слоистые, кучевые и перистые. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.3.5 Облачный покров

Определение: трехмерное поле части неба, в которой определяется облачность. Требуется построение трехмерного поля в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) и также единого слоя (весь атмосферный столб) для обеспечения определения общего облачного покрова — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: радиометрия ВИД/ИК-диапазонов — принцип: производная от изображений облачности, полученных с использованием нескольких дискретных каналов, подобранных специально для определения всех видов облаков. Доля облачного покрова соответствует числу пикселей облачности в заданном множестве пикселей. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: от ИК зондирования — принцип: величина, полученная как побочный продукт от зондирования температуры/влажности, извлекаемый из ИК спектроскопии. Различный перенос энергии излучением на различных длинах волн позволяет извлечь долю облачности, умноженную на излучательную способность облака, в пределах IFOV зондирования. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 3: радиолокатор обнаружения облачности — принцип: измерение радиации обратного рассеяния от капель в облаке в МКВ диапазоне ($\sim 94\text{ ГГц}$) с помощью высокочастотного радиолокатора. Применяется только на НОС.

5.3.6 Высота нижней границы облаков

Определение: высота нижней поверхности облака — физическая единица измерения: км — единица неопределенности: км.

Метод 1: радиолокатор обнаружения облачности — принцип: производная величина, определяемая как значение нижнего уровня радиации обратного рассеяния от капель в облаке, измеренная с помощью высокочастотного радиолокатора ($\sim 94\text{ ГГц}$). Применяется только на НОС.

5.3.7 Оптическая глубина облака

Определение: эффективная глубина облака (англ. OD = depth of the cloud) с точки зрения проникновения излучения. Определяется как $OD = e^{-K \Delta z}$, где K — коэффициент затухания (км^{-1}), Δz — путь оптического луча (км) между основанием и вершиной облака. Она зависит от длины волны, но обычно соотносится с излучением в видимой части спектра. Физическая единица измерения: безразмерная — единица неопределенности: безразмерная.

Метод 1: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Предпочтительно измерения проводить на двух длинах волн. Применяется только на НОС.

Метод 2: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК-диапазонах и КВИК диапазоне, некоторые с поляризметрическими измерениями для определения трех параметров Стокса. Применяется только на НОС.

Метод 3: коротковолновая/тепловая инфракрасная (КВ/ТИК) радиометрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, и испускаемого излучения на нескольких каналах ТИК-диапазона в окнах. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.3.8 Вода в жидкой фазе в облаке

Определение: трехмерное поле содержания воды в атмосфере в жидкой фазе (выпадающей в виде осадков или не выпадающей). Требуется измерение в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) и также для всего атмосферного столба — физическая единица измерения: г/кг для слоев, г/м² для всего атмосферного столба — единица неопределенности: % для слоев, г/м² для всего атмосферного столба.

Метод 1: радиолокатор обнаружения облачности — принцип: измерение уровня излучения обратного рассеяния от капель в облаке с помощью высокочастотного радиолокатора (~94 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокатор для изучения осадков — принцип: измерение уровня излучения обратного рассеяния от капель в облаке с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно на двух частотах, 14 и 35 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 3: МКВ/субмиллиметровое зондирование — принцип: измерение МКВ и субмиллиметрового излучений в окне замера на каналах (обычно на частотах (~10, 19, 37, 90, 150 ГГц) с двойной поляризацией и в полосах поглощения (обычно ~54, 118, 183 ГГц). Применяется как на НОС, так и потенциально на ГСО.

5.3.9 Эффективный радиус капель воды в облаке

Определение: трехмерное поле распределения по размеру мелких капелек воды в жидкой фазе, слившихся в сферы того же объема. Требуется измерение в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) и также на поверхности вершины облака — физическая единица измерения: мкм — единица неопределенности: мкм.

Метод 1: радиолокатор обнаружения облачности — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от капель в облаке с помощью высокочастотного радиолокатора (~94 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокатор для изучения осадков — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от капель в облаке с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно на двух частотах, 14 и 35 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 3: МКВ/субмиллиметровое зондирование — принцип: измерение МКВ и субмиллиметрового излучений в окне замера на каналах (обычно на частотах ~10, 19, 37, 90, 150 ГГц) с двойной поляризацией, и полосах поглощения (обычно ~54, 118, 183 ГГц). На практике профиль распределения эффективного радиуса капель воды в облаке получается с помощью соответствующих моделей ЧПП, по возможности, с разрешающей способностью для определения облачности. Применяется как на НОС, так и потенциально на ГСО.

Метод 4: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Практические ограничения — до вершины облака. Применяется только на НОС.

Метод 5: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, некоторые с поляризметрическими измерениями для определения трех параметров Стокса. Практические ограничения — до вершины облака. Применяется только на НОС.

Метод 6: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в ВИД-, БИК-, КВИК- и СВИК-диапазонах. Также измеряется дифференциальное излучение на нескольких каналах в тепловом инфракрасном диапазоне (ТИК, для перистых облаков). Практические ограничения — до вершины облака. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.3.10 Лед в облаке

Определение: трехмерное поле распределения в атмосфере воды в твердой фазе (выпадающей в виде осадков или не выпадающей). Требуется измерение в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) и также для всего столба — физическая единица измерения: г/кг для слоев, г/м² для всего атмосферного столба — единица неопределенности: % для слоев, г/м² для всего атмосферного столба.

Метод 1: радиолокатор для изучения облачности — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от частичек льда в облаке с помощью высокочастотного радиолокатора (~94 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокатор для изучения осадков — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от частичек льда в облаке с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно на двух частотах, 14 и 35 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 3: МКВ/субмиллиметровое зондирование — принцип: измерение МКВ и субмиллиметрового излучений в окне замера на каналах (обычно на частотах ~37, 90, 150 ГГц) с двойной поляризацией, и полосах поглощения (обычно ~54, 118, 183 и потенциально 380, 425 ГГц). На практике профиль распределения эффективного радиуса капель воды в облаке получается с помощью соответствующих моделей ЧПП, по возможности, с разрешающей способностью для определения облачности. Применяется как на НОС, так и потенциально на ГСО.

Метод 4: формирование изображений в субмиллиметровом диапазоне — принцип: измерение излученной и рассеянной радиации в окнах МКВ-диапазона (243, 664, 874 ГГц) с двойной поляризацией, поддерживаемой каналами на спектральной полосе поглощения Н₂O (183, 325, 448 ГГц). Применим только для всего атмосферного столба. Применяется только на НОС.

Метод 5: формирование изображений в дальней ИК области спектра — принцип: измерение излученной и рассеянной радиации в атмосферных окнах на нескольких частотах дальней ИК области спектра (18,2; 24,4; 52, 87 мкм) по сравнению с ТИК (8,7; 11; 12 мкм). Применим только для всего атмосферного столба. Применяется только на НОС.

5.3.11 Эффективный радиус льда в облаке

Определение: трехмерное поле распределения по размеру частичек льда, слившихся в сферы того же объема. Требуется измерение в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) и также на поверхности вершины облака — физическая единица измерения: мкм — единица неопределенности: мкм.

Метод 1: радиолокатор для изучения облачности — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от частичек льда в облаке с помощью высокочастотного радиолокатора (~94 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокатор для изучения осадков — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от частичек льда в облаке с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно на двух частотах, 14 и 35 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 3: МКВ/субмиллиметровое зондирование — принцип: измерение МКВ и субмиллиметрового излучений в окне замера на каналах (обычно на частотах ~10, 19, 37, 90, 150 ГГц) с двойной поляризацией, и полосах поглощения (обычно ~54, 118, 183 ГГц). На практике профиль распределения эффективного радиуса капель воды в облаке получается с помощью соответствующих моделей ЧПП, по возможности, с разрешающей способностью для определения облачности. Применяется как на НОС, так и потенциально на ГСО.

Метод 4: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение излучения обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Практические ограничения — до вершины облака. Применяется только на НОС.

Метод 5: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, некоторые с поляриметрическими измерениями для определения трех параметров Стокса. Практические ограничения — до вершины облака. Применяется только на НОС.

Метод 6: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в ВИД-, БИК-, КВИК- и СВИК-диапазонах. Также измеряется дифференциальное излучение на нескольких каналах в ТИК-диапазоне (для перистых облаков). Практические ограничения — до вершины облака. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.3.12 **Высота нулевой изотермы в облаке**

Определение: высота расположения атмосферного слоя в облаке, на которой происходит трансформация воды из жидкой в твердую фазу и наоборот — физическая единица измерения: км — единица неопределенности: км.

Метод 1: радиолокатор для изучения осадков — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от капель в облаке с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно на двух частотах, 14 и 35 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 2: МКВ/субмиллиметровое зондирование — принцип: производная величина от зондирования температуры на частотах МКВ и субмиллиметрового диапазонов. Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

5.3.13 **Толщина слоя таяния льда в облаке**

Определение: толщина атмосферного слоя в облаке, в котором происходит трансформация воды из жидкой в твердую фазу и наоборот — физическая единица измерения: км — единица неопределенности: км.

Метод 1: радиолокатор для изучения осадков — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от капель в облаке с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно на двух частотах, 14 и 35 ГГц). Применяется только на НОС.

Метод 2: МКВ/субмиллиметровое зондирование — принцип: производная величина от зондирования температуры на частотах МКВ и субмиллиметрового диапазонов. Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

5.3.14 Атмосферные осадки (в жидкой или твердой фазе)

Определение: трехмерное поле распределения вертикальных потоков выпадающей водяной массы. Требуется измерение в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) — физическая единица измерения: $\text{г} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ (вертикальный поток выпадающей водяной массы) — единица неопределенности: %.

Метод 1: радиолокатор для изучения осадков — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от капель в облаке с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно на двух частотах, 14 и 35 ГГц). Также полезен доплеровский метод измерения. Применяется только на НОС.

Метод 2: МКВ/субмиллиметровое зондирование — принцип: измерение МКВ и субмиллиметровой радиации в окне замера на каналах (обычно на частотах ~10, 19, 37, 90, 150 ГГц) с двойной поляризацией, и полосах поглощения (обычно ~54, 118, 183, 380, 425 ГГц). На практике профиль распределения эффективного радиуса капель воды в облаке получается с помощью соответствующих моделей ЧПП, по возможности, с разрешающей способностью для определения облачности. Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

5.3.15 Интенсивность осадков на поверхности (в жидкой и твердой фазе)

Определение: интенсивность атмосферных осадков, достигающих поверхности земли — физическая единица измерения: мм/ч (если осадки в твердой фазе, то мм/ч воды, образовавшейся после таяния снега или льда) — единица неопределенности: мм/ч. Поскольку неопределенность меняется с изменением интенсивности, необходимо уточнить контрольное значение интенсивности. Ограничение по интенсивности: 5 мм/ч.

Метод 1: радиолокатор для изучения осадков — принцип: измерение уровня радиации обратного рассеяния от капель в облаке с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно на двух частотах, 14 и 35 ГГц). Также полезен доплеровский метод измерения. Применяется только на НОС.

Метод 2: МКВ/субмиллиметровое зондирование — принцип: измерение МКВ и субмиллиметровой радиации в окне замера на каналах (обычно на частотах ~10, 19, 37, 90, 150 ГГц) с двойной поляризацией, и полосах поглощения (обычно ~54, 118, 183, 380, 425 ГГц). На практике профиль распределения эффективного радиуса капель воды в облаке получается с помощью соответствующих моделей ЧПП, по возможности, с разрешающей способностью для определения облачности. Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

Метод 3: ВИД/ИК радиометрия — принцип: значение определяется по полученным изображениям облачности на нескольких дискретных каналах, подобранных таким образом, чтобы определять все виды облаков при помощи концептуальных моделей, как правило, лучше реагирующих на конвективные дождевые осадки.

Метод 4: сочетание методов МКВ зондирования с НОС и ИК зондирования с ГСО — принцип: продукция на основе объединения данных, полученных с НОС в МКВ-диапазоне с помощью надежных/нечастых измерений, с данными на основе часто получаемых ИК-изображений с ГЕО, используемых либо для «калибровки» МКВ измерениями, либо для предоставления возможности проведения динамической интерполяции между данными об осадках, полученными методом МКВ зондирования. Требуются как НОС, так и ГСО.

5.3.16 **Суммарные осадки (за 24 часа или с другой периодичностью менее суток)**

Определение: интегрирование интенсивности атмосферных осадков, достигающих поверхности земли. Базовым требованием является интеграция за 24 часа — физическая единица измерения: мм — единица неопределенности: мм.

Метод 1: от сочетания методов МКВ зондирования с НОС и ИК зондирования с ГСО — принцип: производная от интеграции по времени часто измеряемой скорости выпадения осадков путем слияния данных о скорости выпадения осадков, полученных с помощью МКВ зондирования с НОС, с данными на основе ИК-изображений с ГСО. Требуются как НОС, так и ГСО.

5.3.17 **Обнаружение молний**

Определение: картирование явлений молнии в виде числа вспышек в заданный интервал времени над заданным районом — физическая единица измерения: число - неопределенность выражена в виде ударной скорости (УС) и уровня ложной тревоги (УЛТ).

Метод 1: картирование молний — принцип: обнаружение вспышек с помощью полупроводниковой камеры на приборах с зарядовой связью (ПЗС) в очень узкополосном спектре на БИК-полосе поглощения кислорода (обычно на волне 777,4 нм) для возможности использования также и в дневное время. Число вспышек в заданный интервал времени над заданным районом и их интенсивность связаны с развитостью конвективных процессов в облаке. Применяется как на НОС, так и потенциально на ГСО.

5.4 **АЭРОЗОЛИ И РАДИАЦИЯ**

Этот тематический раздел охватывает переменные, оказывающие воздействие на радиационный баланс Земли в сопоставлении с космосом, взаимодействие облачности и радиации, образование облачности, качество воздуха и несколько факторов, характеризующих климат и его изменение. В таблице 5.3 перечислены переменные, наблюдаемые из космоса.

Таблица 5.3. Геофизические переменные, рассматриваемые в тематическом разделе «Аэрозоли и радиация»

Оптическая плотность аэрозоля	Восходящий поток спектральной плотности излучения на ВГА	Альбедо поверхности Земли
Концентрация аэрозолей	Восходящий поток ДВ-излучения на ВГА	Двунаправленное отражение КВ радиации от поверхности Земли
Эффективный радиус аэрозоля	Восходящий поток КВ-излучения на ВГА	Восходящий поток ДВ-излучения на поверхности Земли
Тип аэрозоля	Отражение коротковолнового излучения от облаков	Длинноволновое излучение поверхности Земли
Вулканический пепел	Нисходящий поток ДВ-излучения на поверхности Земли	Активная радиация фотосинтеза (АРФ)
Нисходящий поток солнечного излучения на ВГА	Нисходящий поток КВ-излучения на поверхности Земли	Доля поглощаемой АРФ

Дополнительные переменные, такие как оптическая плотность поглощения аэрозолем, коэффициент аэрозольного ослабления, альбедо однократного рассеяния аэрозолем и фазовая функция аэрозоля, здесь не рассматриваются, поскольку они тесно связаны с отобранными для этого тематического раздела переменными (оптическая плотность, концентрация, эффективный радиус и тип), которые доступнее для понимания обычными пользователями.

5.4.1 Оптическая плотность аэрозоля

Определение: эффективная плотность столба аэрозолей в атмосфере с точки зрения проникновения излучения. Определяется как $OD = \exp(-K \Delta z)$, где K — коэффициент затухания (км^{-1}), Δz — путь оптического луча (км) между земной поверхностью и ВГА. Она зависит от длины волны — физическая единица измерения: безразмерная — единица неопределенности: безразмерная.

Метод 1: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Применяется только на НОС.

Метод 2: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, некоторые с поляризметрическими измерениями для определения трех параметров Стокса. Также используется многократный обзор с разным углом падения. Применяется только на НОС.

Метод 3: КВ спектроскопия (надирная) — принцип: измеряется рассеянная радиация в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах при надирном наблюдении с высокой спектральной разрешающей способностью. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 4: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких каналах в ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах. Некоторая информация, относящаяся к поглощающим аэрозольям, также доступна при измерении в окнах ТИК-диапазона. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.2 Концентрация аэрозолей

Определение: трехмерное поле отношений концентраций компонентов смеси конденсированных частиц в атмосфере (кроме воды) — требуется измерение от поверхности до ВГА (слои атмосферы: НТ, ВТ, НС, ВС и М) + весь атмосферный столб — физическая единица измерения: г/кг для слоев, г/м^2 для всего атмосферного столба — единица неопределенности: % для слоев, г/м^2 для всего атмосферного столба.

Метод 1: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение излучения обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Применяется только на НОС.

Метод 2: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, некоторые с поляризметрическими измерениями для определения трех параметров Стокса. Также используется многократный обзор с разным углом падения. Применяется только на НОС.

Метод 3: КВ спектроскопия (надирная) — принцип: измеряется рассеянная радиация в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах при надирном наблюдении с высокой спектральной разрешающей способностью. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 4: КВ спектроскопия (лимбовая) — принцип: измеряется рассеянная радиация в УФ, ВИД, БИК и КВИК диапазонах в режиме лимбовых наблюдений с высокой спектральной разрешающей способностью. Также используются наблюдения за поглощенной радиацией от солнца и звезд во время затмения. Применяется только на НОС.

Метод 5: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких каналах в ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах. Некоторая информация, относящаяся к поглощающим аэрозолям, также доступна при измерении в окнах ТИК-диапазона. Подходит только для всего атмосферного столба. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.3 Эффективный радиус аэрозоля

Определение: трехмерное поле аэрозольных частиц среднего размера, слившихся в сферы того же объема. Требуется измерение в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) и получение осредненного значения по всему атмосферному столбу — физическая единица измерения: мкм — единица неопределенности: мкм.

Метод 1: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Применяется только на НОС.

Метод 2: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, некоторые с поляризметрическими измерениями для определения трех параметров Стокса. Также используется многократный обзор с разным углом падения. Необходимо использование априорной информации и интенсивного моделирования. Применяется только на НОС.

Метод 3: КВ спектроскопия (надирная) — принцип: измеряется рассеянная радиация в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах при наблюдениях в надир с высокой спектральной разрешающей способностью. Необходимо использование априорной информации и интенсивного моделирования. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.4 Тип аэрозоля

Определение: трехмерное поле. Комплексные характеристики наблюдаемых аэрозолей. Перечень интересующих типов определяется заранее — требуется измерение в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) и получение осредненного значения по всему атмосферному столбу — неопределенность обычно определяется с точки зрения достоверности, с которой аэрозоль может быть отнесен к тому или иному типу. Например, с какой достоверностью можно определить наличие пыли в данном пикселе (0 %-100 %). Точность указывается в виде вероятности правильного обнаружения. Обратите внимание, что в стратосфере можно обнаружить вулканический пепел и даже иногда дымовой аэрозоль (ситуация с пирооблаками).

Метод 1: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Применяется только на НОС.

Метод 2: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, некоторые с поляризметрическими измерениями для определения трех параметров Стокса. Также используется многократный обзор с разным углом падения. Совершенно необходимо использование априорной информации и интенсивного аэрозольного моделирования. Применяется только на НОС.

Метод 3: КВ спектроскопия (надирная) — принцип: измеряется рассеянная радиация в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах при наблюдениях в надир с высокой спектральной разрешающей способностью. Необходимо использование априорной информации и интенсивного моделирования. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 4: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких каналах в ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах. Некоторая информация,

относящаяся к поглощающим аэрозолям, также доступна при измерении в окнах ТИК-диапазона. Необходимо использование априорной информации и интенсивного моделирования. Подходит только для всего атмосферного столба. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.5 Вулканический пепел

Определение: трехмерное поле концентрации вулканического пепла — требуется измерение от поверхности до ВГА (слои атмосферы: НТ, ВТ, НС, ВС и М) + весь атмосферный столб — физическая единица измерения: мг/м^3 или г/кг для слоев, г/м^2 для всего атмосферного столба — единица неопределенности: % для слоев, г/м^2 для всего столба.

Метод 1: лидар обратного рассеяния — принцип: измерение радиации обратного рассеяния в УФ-, ВИД- или БИК-диапазонах с помощью лидара. Применяется только на НОС.

Метод 2: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, некоторые с поляризметрическими измерениями для определения трех параметров Стокса. Также используется многократный обзор с разным углом падения. Применяется только на НОС.

Метод 3: КВ спектроскопия (надирная) — принцип: измеряется рассеянная радиация в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах при наблюдениях в надир с высокой спектральной разрешающей способностью. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 4: КВ спектроскопия (лимбовая) — принцип: измеряется рассеянная радиация в УФ-, ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах в режиме лимбовых наблюдений с высокой спектральной разрешающей способностью. Также используются наблюдения за поглощенной радиацией от солнца и звезд во время затмения. Применяется только на НОС.

Метод 5: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких каналах в ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах.

Метод 6: Пассивные ИК-измерения являются основным методом дистанционного зондирования вулканического пепла. Другие методы считаются подходами с добавленной стоимостью. Используемый метод представляет собой дифференциальное поглощение в ИК-окнах. Кроме того, для определения минерального состава золы, что очень важно, используются гиперспектральные ИК-измерения. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.6 Нисходящий поток солнечного излучения на верхней границе атмосферы

Определение: плотность потока солнечного излучения на верхней границе атмосферы — физическая единица измерения: Вт/м^2 — единица неопределенности: Вт/м^2 .

Метод 1: резонансный радиометр — принцип: измерение захваченного общего нисходящего потока солнечной радиации на высоте спутника с помощью прибора, такого как активного резонансного радиометра. Абсолютный метод измерения. Применяется на НОС, ГСО или орбитах в открытом космосе, в точке Лагранжа L1 (точка либрации), к примеру.

5.4.7 **Восходящий поток спектральной плотности излучения на верхней границе атмосферы**

Определение: мощность восходящего излучения, измеренная в верхней части атмосферы на единицу площади, на телесный угол и на интервал длины волны. Спектральный диапазон 0,2–200 мкм. Разрешающая способность $\lambda/\Delta\lambda = 1\,000$. Неопределенность выражена как отношение сигнал–шум.

Метод 1: широкополосная спектроскопия — принцип: измерение излучения в интервале 0,2–200 мкм, излучаемого системой Земля-атмосфера в направлении космоса. Необходимо несколько спектрометров для охвата КВ- и ДВ-диапазонов. Целью исследований является мониторинг изменения климата с использованием спектра как абсолютного показателя («сигнатуры»). Применяется только на НОС.

5.4.8 **Восходящий поток длинноволнового излучения на верхней границе атмосферы**

Определение: плотность потока инфракрасного земного излучения в космос поверхностью Земли, атмосферой и облаками на верхней границе атмосферы — физическая единица измерения: Вт/м² — единица неопределенности: Вт/м².

Метод 1: широкополосная радиометрия — принцип: измерение излучения в интервале 4–200 мкм, излучаемого системой Земля-атмосфера в направлении космоса, с помощью детекторов, имеющих как можно более плоскую характеристику в интервале измерения. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.9 **Восходящий поток коротковолнового излучения на верхней границе атмосферы**

Определение: плотность потока земного излучения в космос поверхностью Земли, атмосферой и облаками на верхней границе атмосферы — физическая единица измерения: Вт/м² — единица неопределенности: Вт/м².

Метод 1: Широкополосная радиометрия — принцип: измерение излучения в интервале 0,2–4,0 мкм, отражаемого системой Земля-атмосфера в направлении космоса, с помощью детекторов, имеющих как можно более плоскую характеристику в интервале измерения. Информация о двунаправленном отражении и моделировании требуется для того, чтобы конвертировать энергетическую яркость излучения в плотность интенсивности падающего излучения. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: коротковолновая радиометрия — принцип: измерение излучения, отражаемого системой Земля-атмосфера в нескольких узких ВИД и БИК диапазонах. Для преобразования узкополосных излучений в коротковолновое излучение необходимо использовать модели углового распределения (двунаправленное отражение) и спектральные преобразования.

5.4.10 **Отражение коротковолнового излучения от облаков**

Определение: отражение солнечного излучения от облаков — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: КВ радиометрия — принцип: измерение солнечного излучения обратного рассеяния на нескольких каналах в ВИД-, БИК- или КВИК-диапазонах. Рекомендуется использовать конфигурацию с разными углами обзора. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.11 **Нисходящий поток длинноволнового излучения на поверхности Земли**

Определение: плотность потока длинноволнового излучения от солнца, атмосферы и облаков к поверхности Земли — физическая единица измерения: Вт/м² — единица неопределенности: Вт/м².

Метод 1: от ИК/МКВ зондирования — принцип: продукция высокого уровня, получаемая как производная от профилей температуры воздуха и водяного пара в атмосфере. Необходимо учитывать информацию об облачном покрове и высоте нижней границы облачности. Необходимо применять атмосферное моделирование. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.12 **Нисходящий поток коротковолнового излучения на поверхности Земли**

Определение: плотность потока коротковолнового излучения от солнца, атмосферы и облаков к поверхности Земли — физическая единица измерения: Вт/м² — единица неопределенности: Вт/м². В таких областях применения, как солнечная энергия, используется единица измерения МДж м⁻².

Метод 1: КВ радиометрия — принцип: продукция высокого уровня, получаемая как производная от измерений рассеянного солнечного излучения на нескольких узкополосных (и широкополосных) каналах в ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах для оценки затухания от облаков и аэрозолей. Помогает использование разных углов обзора и мультиполяризация. Применяется как на НОС, так и на ГСО. Следует отметить, что нисходящее коротковолновое излучение на поверхности и отражаемое широкополосное излучение на ВГА тесно связаны, что способствует получению информации.

5.4.13 **Альбедо поверхности Земли**

Определение: интегрированное в масштабе полушария отражение от поверхности Земли излучения в диапазоне 0,4–0,7 мкм (или в других определенных коротковолновых диапазонах) — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: КВ радиометрия с разными углами обзора — принцип: продукция высокого уровня, получаемая после измерений рассеянного солнечного излучения на нескольких каналах ВИД-диапазона под несколькими углами обзора и при разной высоте солнца для оценки эффекта анизотропии и улучшения расчетов радиационных потоков. Используются также каналы для определения атмосферных поправок. Применяется только на НОС и ГСО.

Метод 2: ВИД радиометрия — принцип: измерение рассеянного солнечного излучения на нескольких каналах ВИД-диапазона, в том числе на каналах для определения атмосферных поправок. Эффект анизотропии для интегрирования в масштабе полушария рассчитывается с помощью моделирования. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.14 **Двунаправленное отражение коротковолнового излучения от поверхности Земли**

Определение: отражение от поверхности Земли как функция угла обзора и условий освещенности в диапазоне 0,4–0,7 мкм (или в других специальных коротковолновых диапазонах) — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: КВ радиометрия — принцип: измерение рассеянного солнечного излучения на нескольких каналах ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонов под несколькими углами обзора

и при разной высоте солнца для оценки эффекта анизотропии и улучшения расчетов радиационных потоков. Используются также каналы для определения атмосферных поправок. Применяется только на НОС.

5.4.15 **Восходящий поток длинноволнового излучения на поверхности Земли**

Определение: плотность потока длинноволнового излучения, исходящего от поверхности Земли — физическая единица измерения: Вт/м² — единица неопределенности: Вт/м².

Метод 1: широкополосная радиометрия — принцип: измерение излучения в интервале 4–200 мкм, испускаемого поверхностью Земли в направлении атмосферы и, в конечном итоге, в космос. Нужны детекторные приемники с максимально возможной плоской характеристикой в интервале измерений. Необходимо применять атмосферные поправки, главным образом, на водяной пар и облачность. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.16 **Длинноволновое излучение поверхности Земли**

Определение: излучение поверхности Земли в тепловом ИК-диапазоне как функция длины волны — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: измерение испускаемого излучения в нескольких относительно узкополосных ИК каналах обзора для определения эквивалентных температур абсолютно черного тела на нескольких длинах волн. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: ИК спектроскопия — принцип: множественное определение эквивалентных температур абсолютно черного тела в наибольшем числе узких окон обзора по всему ИК-диапазону спектра. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.17 **Активная радиация фотосинтеза**

Определение: плотность потока нисходящих фотонов с длиной волны 0,4–0,7 мкм на поверхности — физическая единица измерения: μ эйнштейн $\cdot$ м⁻² $\cdot$ с⁻¹ (1 эйнштейн = $6 \cdot 10^{23}$ фотонов); наиболее используемая: Вт/м² — единица неопределенности: Вт/м².

Метод 1: ВИД радиометрия — принцип: продукция высокого уровня, подобная «нисходящему потоку коротковолнового излучения на поверхности Земли» за исключением того, что она относится к интервалу 0,4–0,7 мкм, используемому растительностью для фотосинтеза. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.4.18 **Доля поглощаемой активной радиации фотосинтеза**

Определение: доля активной радиации фотосинтеза, поглощаемой растительностью (наземной и морской), для поддержания процессов фотосинтеза (обычно вокруг «красного» участка спектра) — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: ВИД радиометрия — принцип: рассчитывается на основе измеренной активной радиации фотосинтеза и одного измерения в районе «красного» участка спектра (~670 нм). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.5 ОКЕАН И МОРСКОЙ ЛЕД

Этот тематический раздел состоит из переменных, характеризующих состояние поверхности океана, включая волны и морской лед. В таблице 5.4 перечислены переменные, наблюдаемые из космоса.

Таблица 5.4. Геофизические переменные, рассматриваемые в тематическом разделе «Океан и морской лед»

Концентрация хлорофилла в океане	Температура поверхности моря	Преимущественное направление волн	Вид морского льда
Цветность растворенных органических веществ	Соленость поверхности моря	Доминантный период волн	Температура поверхности льда
Концентрация взвешенных наносов в океане	Динамическая карта поверхности океана	Частотный спектр направленной энергии волн	Движение/дрейф льда
Коэффициент диффузионного ослабления в океане (ДОО)	Уровень моря в прибрежных районах (приливы и отливы)	Покров/сплоченность морского льда	
Площадь нефтяных разливов	Высота значительных волн	Толщина морского льда	

Многие переменные здесь не рассмотрены: профили температуры и солености в поверхностном слое океана (невозможно измерить из космоса), течения (производная продукция от карты поверхности океана в отношении геострофического компонента, невозможно измерить или в ином случае слишком неточные данные), протяженность или высота айсберга (особый случай для определения ледового покрова и толщины льда), дрейф льда (продукция динамического анализа).

5.5.1 Концентрация хлорофилла в океане

Определение: индикатор живой биомассы фитопланктона, получаемый из наблюдений за цветностью океана. Требуется определять как для районов открытого океана, так и для прибрежной зоны — физическая единица измерения: мг/м^3 — единица неопределенности: мг/м^3 при определенной концентрации (например 1 мг/м^3).

Метод 1: ВИД радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации на нескольких каналах (наиболее значительные: 442,5 нм, 490 нм, 560 нм, 665 нм, 681,25 нм). Спектральная разрешающая способность порядка 2 %. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.5.2 Цветность растворенных органических веществ (ЦРОВ)

Определение: прежнее название «спектральная поглощательная способность желтого вещества». Значение переменной получают из наблюдений за цветностью океана. Показывает уровень живой биомассы, разлагающейся в процессе фотосинтеза. Требуется определять как для районов открытого океана, так и для прибрежной зоны — физическая единица измерения: м^{-1} — единица неопределенности: м^{-1} при определенной концентрации (такой как 1 м^{-1}).

Метод 1: ВИД радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации на нескольких каналах (наиболее значительный: 412,5 нм). Спектральная разрешающая способность порядка 2 %. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.5.3 Концентрация взвешенных наносов в океане

Определение: переменная величина извлекается из наблюдений за цветностью океана. Показывает речной сток, наносы или загрязнения веществами небиологического происхождения. Требуется определять как для районов открытого океана, так и для прибрежной зоны — физическая единица измерения: г/м^3 — единица неопределенности: г/м^3 при определенной концентрации (такой как 2 мг/м^3).

Метод 1: ВИД радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации на нескольких каналах (наиболее значительные: 510 нм, 560 нм, 620 нм). Спектральная разрешающая способность порядка 2 %. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.5.4 Коэффициент диффузионного ослабления в океане

Определение: бывшее название: «прозрачность воды». Индикатор мутности воды и вертикальных процессов в океане, извлекается из наблюдений за цветностью океана. Требуется определять как для районов открытого океана, так и для прибрежной зоны — физическая единица измерения: м^{-1} — единица неопределенности: м^{-1} .

Метод 1: ВИД радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации на нескольких каналах в диапазоне 400–700 нм. Спектральная разрешающая способность порядка 2 %. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.5.5 Площадь нефтяных разливов

Определение: доля района океана, загрязненная углеводородами в результате антропогенной деятельности случайно или преднамеренно (например, при сбросе с морских судов, трубопроводов). Разливы нефти оказывают воздействие на процессы взаимодействия океана и атмосферы. Требуется определять как для районов открытого океана, так и для прибрежной зоны — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: ВИД/БИК радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации на нескольких каналах в диапазоне 400–1 000 нм. Спектральная разрешающая способность порядка 2 %. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: КВ поляриметрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации на нескольких узкополосных каналах в ВИД-, БИК- и КВИК-диапазонах, некоторые с двойной поляризацией. Применяется только на НОС.

Метод 3: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах, наблюдаемой на нескольких дискретных каналах относительно узких полос частот пропускания (1 %–5 %). Применяется только на НОС.

Метод 4: изображения, полученные с помощью РСА — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3, 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Полезно использовать поляриметрические возможности измерения. Применяется только на НОС.

5.5.6 Температура поверхности моря

Определение: температура воды на поверхности моря. Температура «на глубине» обычно означает измерения с дрейфующих (~0,2 м) и заякоренных (~1 м) буев. Температура «поверхностной пленки» относится к проводящему слою, характеристики которого определяются диффузией, глубиной ~10–20 мкм (слой, к которому чувствительно ИК-излучение). Температура «подповерхностного слоя» означает температуру у основания

проводящего ламинарного подслоя поверхности океана, обычно на уровне ~1 мм (слой, к которому чувствительно МКВ излучение). Физическая единица измерения: К — единица неопределенности: К.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: производная от ИК изображений, обычно с использованием нескольких диапазонов- «окон», каждый из которых чувствителен к температуре поверхности моря и приповерхностной атмосфере, но по-своему (так называемый метод дифференциального поглощения). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: ИК спектроскопия — принцип: производная от большого количества очень узконаправленных каналов по всему ИК-диапазону спектра, связанных с другими каналами, предоставляющими информацию, необходимую для определения атмосферной поправки. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 3: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ-радиации в атмосферных окнах в диапазоне малых значений средних частот (в частности 5 ГГц и 10 ГГц). Требуется проводить больше поляризационных измерений для поправки на эффект шероховатости. Применяется только на НОС.

5.5.7 **Соленость поверхности моря**

Определение: соленость морской воды в поверхностном слое, который подвергается воздействию турбулентных движений, вызванных давлением ветра, волнами и циклом суточного нагревания. (Это слой толщиной в несколько метров, но микроволновые измерения репрезентативны только для верхнего слоя ~1 м). Для районов открытого океана правильно использовать термин «хлореность» для того, чтобы указать на самый распространенный анион хлора — физическая единица измерения: безразмерная, выражается по практической шкале солености (PSS-78), близкая к 1 ‰ или 1 г соли на 1 литр раствора — единица неопределенности: безразмерная.

Метод 1: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ радиации в низкочастотном диапазоне (например, 1,4 ГГц). Требуется проводить больше поляризационных измерений для поправки на эффект шероховатости. Желательно использовать больше каналов для поправки на температуру. Применяется только на НОС.

5.5.8 **Динамическая карта поверхности океана**

Определение: отклонение уровня моря от геоида в результате воздействия океанских течений (после внесения поправок на воздействие прилива/отлива и атмосферного давления) — физическая единица измерения: см — единица неопределенности: см.

Метод 1: радиолокационная альтиметрия — принцип: измерение излучения обратного рассеяния от поверхности моря с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно использовать двойную частоту, 13 ГГц и 3 ГГц или 5 ГГц). Необходимо использовать пассивную МКВ радиометрию на ассоциированных двух или трех каналах (23 ГГц и 37 ГГц и/или 13 ГГц и 3 ГГц или 5 ГГц) для поправки на путь луча в тропосфере с учетом водяного пара и обусловленного ионосферой завихрения. Карта поверхности океана получается путем фильтрации колебаний высоты волн из ряда данных, полученных в результате измерений на дальности от спутника до поверхности моря. Применяется только на НОС.

5.5.9 **Уровень моря в прибрежных районах (приливы и отливы)**

Определение: отклонение уровня моря от местного нулевого уровня в прибрежной зоне в результате воздействия местных течений и приливов/отливов (астрономического и ветрового происхождения) — физическая единица измерения: см — единица неопределенности: см.

Метод 1: радиолокационная альтиметрия — принцип: измерение излучения обратного рассеяния от поверхности моря с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно использовать двойную частоту, 13 ГГц и 3 ГГц или 5 ГГц). Необходимо использовать пассивную МКВ радиометрию на ассоциированных двух или трех каналах (23 ГГц и 37 ГГц и/или 19 ГГц) для поправки на путь луча в тропосфере с учетом водяного пара и обусловленного ионосферой завихрения. Уровень моря получается путем фильтрации колебаний высоты волн из ряда данных, полученных в результате измерений на дальности от спутника до поверхности моря. Применяется только на НОС.

5.5.10 **Высота значительных волн**

Определение: средняя амплитуда 30 самых высоких из 100 волн — физическая единица измерения: м — единица неопределенности: м.

Метод 1: радиолокационная альтиметрия — принцип: измерение излучения обратного рассеяния от поверхности моря с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно использовать двойную частоту, 13 ГГц и 3 ГГц или 5 ГГц). Высота волны связана с многообразием диапазонов измерений. Применяется только на НОС.

Метод 2: от спектральных характеристик РСА — принцип: производная от спектрального анализа изображений, полученных с помощью РСА, на частотах 1,3 ГГц или 5 ГГц, путем обработки данных о спектральной плотности, длине волны и направлении излучения с использованием граничных условий. Применяется только на НОС.

5.5.11 **Преимущественное направление волн**

Определение: одна из особенностей спектральной характеристики океанских волн. Это направление волны с самой большой энергией в спектре — физическая единица измерения: градусы — единица неопределенности: градусы.

Метод 1: от спектральных характеристик РСА — принцип: производная от спектрального анализа изображений, полученных с помощью РСА, на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц. Применяется только на НОС.

5.5.12 **Преимущественный период волн**

Определение: одна из особенностей спектральной характеристики океанских волн. Это период волны с самой большой энергией в спектре — физическая единица измерения: с — единица неопределенности: с.

Метод 1: от спектральных характеристик РСА — принцип: производная от спектрального анализа изображений, полученных с помощью РСА, на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц. Применяется только на НОС.

5.5.13 Частотный спектр направленной энергии волн

Определение: двумерная переменная, иначе называемая «волновой спектр». Описывает энергию волны, распространяющейся в каждом направлении и полосе частот (таких как 24 дискретных азимутальных секторов по 15° каждый и 25 частотных полос) — физическая единица измерения: $\text{м}^2 \cdot \text{Гц}^{-1} \cdot \text{рад}^{-1}$ — единица неопределенности: $\text{м}^2 \cdot \text{Гц}^{-1} \cdot \text{рад}^{-1}$.

Метод 1: от спектральных характеристик РСА — принцип: производная от спектрального анализа изображений, полученных с помощью РСА, на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц. Применяется только на НОС.

5.5.14 Покров/сплоченность морского льда

Определение: доля района океана, где обнаружен лед — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации или излученной радиации в СДИК/ИК-диапазонах наблюдений на нескольких дискретных каналах относительно большой полосы пропускания (5–10 %). Относительная площадь ледового покрова определяется числом пикселей, классифицированных как «лед», в заданном массиве пикселей. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ радиации в атмосферных окнах на среднем диапазоне высоких частот (таких как 37 ГГц, 90 ГГц). Требуется проводить больше поляризационных измерений (сигнал, отраженный от поверхности моря, сильно поляризован). Относительная площадь ледового покрова определяется числом пикселей, классифицированных как «лед», в заданном массиве пикселей. Применяется только на НОС.

Метод 3: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах наблюдений на нескольких дискретных каналах. Высокая разрешающая способность достигается за счет цикла наблюдений. Применяется только на НОС.

Метод 4: изображения, полученные с помощью РСА — принцип: измерение МКВ излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой. Относительная площадь ледового покрова определяется числом пикселей, классифицированных как «лед», в заданном массиве пикселей. Применяется только на НОС.

5.5.15 Толщина морского льда

Определение: толщина ледового покрова. Она относится к высоте поверхности морского льда над уровнем моря и к плотности льда — физическая единица измерения: см — единица неопределенности: см.

Метод 1: радиолокационная альтиметрия — принцип: измерение излучения обратного рассеяния от поверхности моря с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно использовать двойную частоту, 13 ГГц и 3 ГГц или 5 ГГц). Необходимо использовать пассивную МКВ радиометрию на ассоциированных двух каналах (23 и 37 ГГц) для поправки на путь луча в тропосфере с учетом водяного пара. Применяется только на НОС.

Метод 2: лидарная альтиметрия — принцип: измерение ВИД/БИК-излучения обратного рассеяния с помощью лидара. Предпочтительно использовать две длины волны, такие как 532 и 1 064 нм. Применяется только на НОС.

Метод 3: радиолокационная (РСА) интерферометрия — принцип: измерение МКВ излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой. Высота наблюдаемой поверхности определяется методом интерферометрии между изображениями, полученными от нескольких пролетов спутника над районом. Применяется только на НОС.

Метод 4: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах и излученной радиации в ИК-спектре на нескольких дискретных каналах относительно широкой полосы пропускания дает оценки альбедо поверхности и температуры поверхностной пленки океана. Они используются для решения модели поверхностного энергетического баланса для льда при определении толщины льда.

Метод 5: пассивный МКВ L-диапазон — принцип: поверхностная излучательная способность морского льда в L-диапазоне (1,4 ГГц), которая является функцией от частичной проницаемости излучательной способности подстилающей морской воды, толщины морского льда и солености морского льда, с учетом высоты снежного покрова на поверхности морского льда. Независимое измерение температуры поверхности льда улучшает получение информации. Желательно провести многочисленные поляризационные измерения. Применяется только на НОС.

5.5.16 Вид морского льда

Определение: комплексные характеристики (возраст, неровность рельефа, плотность и др.) наблюдаемого морского льда. Перечень интересующих видов льда определяется заранее — неопределенность выражается в виде числа дискриминантных видов (классов).

Метод 1: радиолокационная скаттерометрия — принцип: измерение излучения обратного рассеяния с помощью скаттерометрии на основе среднечастотного радиолокатора (около 5 или 11 ГГц). Коэффициент отражения калиброванного радиолокатора зависит от неровности рельефа и проводимости поверхности (связана с возрастом льда). Применяется только на НОС.

Метод 2: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ-радиации в атмосферных окнах на средних частотах (таких как 19 и 37 ГГц). Желательно определение трех параметров Стокса (т. е., по крайней мере, четыре поляризации). Применяется только на НОС.

Метод 3: радиолокационные (РСА) изображения — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Применяется только на НОС.

5.5.17 Температура поверхности льда

Определение: излучаемая температура или температура поверхностной пленки морского льда. Поверхность может представлять собой бесснежный лед или иметь снежный покров — физическая единица измерения: К — единица неопределенности: К.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: производная от ИК изображений на многих каналах, включая «окна» и другие каналы (на спектральных частотах поглощения водяного пара), необходимые для оценки атмосферного ослабления. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: МКВ радиометрия — принцип: производная от низкочастотных МКВ каналов, включая «окна» и другие чувствительные каналы, необходимые для оценки атмосферного ослабления. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.5.18 Движение/дрейф льда

Определение: движение морского ледяного покрова — физическая единица измерения: м/с и градусы или м/с для УФ компонентов — единица неопределенности: м/с и градусы.

Метод 1: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение излученной радиации в ИК-диапазоне на нескольких дискретных каналах относительно большой полосы пропускания. Движение льда означает скорость и направление дрейфа морского льда. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ радиации в атмосферных окнах на среднем диапазоне высоких частот (таких как 37 ГГц, 90 ГГц). Движение льда означает скорость и направление дрейфа морского льда. Применяется только на НОС.

Метод 3: изображения, полученные с помощью РСА — принцип: измерение МКВ излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Движение льда означает скорость и направление дрейфа морского льда. Применяется только на НОС.

5.6 ПОВЕРХНОСТЬ СУШИ (ВКЛЮЧАЯ СНЕГ)

Этот тематический раздел состоит из переменных, характеризующих поверхность суши, включая растительность, пожары, ледники и снег. В таблице 5.5 перечислены переменные, наблюдаемые из космоса.

Таблица 5.5. Геофизические переменные, рассматриваемые в тематическом разделе «Поверхность суши, включая снег»

Температура поверхности суши	Индекс листовой поверхности	Состояние снега (влажный/сухой)	Топография поверхности суши
Влажность почвы на поверхности	Приведенный разностный индекс растительности	Снежный покров	Ледниковый покров
Влажность почвы (в корнеобитаемом слое почвы)	Долевая часть покрова, охваченная пожаром	Водный эквивалент снега	Топография ледников
Доля поверхности суши, покрытая растительностью	Температура пожара	Тип почвы	
Тип растительности	Энергия излучения от пожара	Почвенно-растительный покров	

Несколько переменных здесь не рассмотрены, в частности, грунтовые воды (учитываются при рассмотрении влажности почвы, снега, ледников и одного вида почвенно-растительного покрова), расход воды в реке (продукция слишком высокого уровня), профиль температуры внутри почвенного слоя (невозможно измерить из космоса), температура поверхности снега и озера, вечная мерзлота (частные случаи наблюдений за температурой поверхности), береговая линия (слишком очевидно), биомасса (слишком обобщенная величина).

5.6.1 Температура поверхности суши

Определение: температура видимой поверхности суши (оголенная почва или растительность) — физическая единица измерения: К — единица неопределенности: К.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: производная от ИК изображений на многих каналах, включая «окна» и другие при необходимости оценить излучательную способность и атмосферное ослабление (на спектральных частотах поглощения водяного пара). Двойной обзор сокращает неопределенность атмосферной поправки. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: ИК спектроскопия — принцип: производная от большого количества очень узконаправленных каналов по всему ИК-диапазону спектра, связанных с другими каналами, предоставляющими всю информацию, необходимую для определения атмосферной поправки. Это позволяет оценить излучательную способность. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 3: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ-радиации в атмосферных окнах в диапазоне малых значений средних частот (таких как 5 ГГц, 10 ГГц, 36 ГГц). Требуется проводить больше поляризационных измерений для поправки на эффекты влажности. Применяется только на НОС.

5.6.2 Влажность почвы на поверхности

Определение: относительное содержание воды в объеме влажной почвы. Поверхностный слой (верхние несколько сантиметров) — физическая единица измерения: $\text{м}^3/\text{м}^3$ — единица неопределенности: $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Метод 1: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ радиации в низкочастотном диапазоне (1,4 и 2,7 ГГц, к примеру). Требуется проводить многочисленные поляризационные измерения для поправки на эффект шероховатости. Желательно использовать больше каналов для поправки на температуру. Целесообразно использовать более высокие частоты (5 ГГц, 10 ГГц), особенно для оголенной почвы. Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокационная скаттерометрия — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на относительно низких частотах (таких как 5 ГГц). Используется множество углов обзора для оценки поправки на неровность рельефа. Применяется только на НОС.

Метод 3: радиолокационные (РСА) изображения — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Применяется только на НОС.

Метод 4: ВИД/ИК радиометрия — принцип: возможно использование нескольких индикаторов. Примеры: затухание коэффициента отражения от ВИД/БИК к КВИК диапазону; производная от очевидной тепловой инерции, получаемой путем измерения задержки в повышении температуры суши под воздействием приходящей солнечной радиации (применимо к оголенной почве). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.6.3 Влажность почвы (в корнеобитаемом слое почвы)

Определение: трехмерное поле относительного содержания воды в объеме влажной почвы в подпочвенном слое. Требуемое измерение в слое от поверхности вглубь почвы до ~3 м — физическая единица измерения: $\text{м}^3/\text{м}^3$ — единица неопределенности: $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Метод 1: МКВ радиометрия в L-диапазоне — принцип: измерение испускаемой МКВ-радиации в низкочастотном диапазоне (таком как 1,4 ГГц). Требуется проводить многочисленные поляризационные измерения для поправки на эффект шероховатости. Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокационные (РСА) изображения в L-диапазоне — принцип: измерение МКВ излучения обратного рассеяния на низкой частоте (обычно 1,3 ГГц) с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой. Можно использовать Р-диапазон (~400 МГц) и S-диапазон (~2,7 ГГц). Применяется только на НОС.

5.6.4 Доля поверхности суши, покрытая растительностью

Определение: доля области суши, на которой имеется растительность — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах спектра на нескольких дискретных каналах относительно узкой полосы пропускания (1–5 %). Возможно гиперспектральное (несколько сотен каналов). Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

Метод 2: изображения, полученные с помощью РСА — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Применяется только на НОС.

5.6.5 Тип растительности

Определение: наблюдаемые виды или семейства растительности. Перечень интересующих типов растительности определяется заранее — неопределенность выражается числом определенных типов (классов).

Метод 1: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах на нескольких дискретных каналах относительно узкой полосы пропускания (1–5 %). Возможно гиперспектральное (несколько сотен каналов). Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

Метод 2: изображения, полученные с помощью РСА — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Применяется только на НОС.

5.6.6 Индекс листовой поверхности

Определение: половина общей предполагаемой относительной доли области с зелеными листьями в листовом пологе растений в пределах заданной области. Индикатор общей биомассы и здоровья растений — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: КВ радиометрия — принцип: измерение рассеянного солнечного излучения на каналах ВИД/БИК и особенно КВИК-диапазонов (до 2,4 мкм). Необходимо измерять на нескольких каналах, относительно узкая полоса пропускания (2–3 %). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: радиолокационная скаттерометрия — принцип: измерение излучения обратного рассеяния с помощью скаттерометрии на основе среднечастотного радиолокатора (около 5 или 11 ГГц). Коэффициент отражения калиброванного радиолокатора зависит от проводимости поверхности (связана с биомассой). Применяется только на НОС.

Метод 3: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах на нескольких дискретных каналах относительно узкой полосы пропускания (1–5 %). Возможно гиперспектральное (несколько сотен каналов). Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

5.6.7 Приведенный разностный индекс растительности

Определение: разница между максимальной (в БИК-диапазоне) и минимальной (в районе «красной» области спектра) отражающей способностью растительности, приведенная к суммированию. Является репрезентативной величиной для общей биомассы и вспомогательной величиной для расчета индекса листовой поверхности, если он не измеряется напрямую — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: ВИД/БИК радиометрия — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации в ВИД-диапазоне («красная» область спектра, минимальная отражающая способность от растительного покрова) и БИК-диапазоне (обычно 865 нм, высокая отражательная способность). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение рассеянной солнечной радиации в ВИД-диапазоне («красная» область спектра, минимальная отражающая способность от растительного покрова) и БИК-диапазоне (обычно 865 нм, высокая отражательная способность). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.6.8 Долевая часть покрова, охваченная пожаром

Определение: доля области суши, охваченная пожаром — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: ВИД/БИК радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах или излученной радиации в СВИК/ИК-диапазонах спектра на нескольких дискретных каналах относительно большой полосы пропускания (5–10 %). Долевая часть покрова определяется числом пикселей, классифицированных как «пожар», в заданном массиве пикселей. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах спектра на нескольких дискретных каналах. Целесообразно использовать для оценки нанесенного ущерба после пожара. Высокая разрешающая способность достигается за счет наблюдательного цикла. Применяется только на НОС.

Метод 3: изображения, полученные с помощью РСА — принцип: измерение МКВ излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Долевая часть покрова определяется числом пикселей, классифицированных как «пожар», в заданном массиве пикселей. Целесообразно использовать для оценки нанесенного ущерба после пожара. Применяется только на НОС.

5.6.9 Температура пожара

Определение: температура пожара в пределах области, охваченной пожаром — физическая единица измерения: К — единица неопределенности: К.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: производная от ИК изображений на ряде каналов в «окнах» обзора. СВИК (3,7 мкм) является самым чувствительным диапазоном спектра. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.6.10 Энергия излучения от пожара

Определение: энергия, излученная пожаром в пределах области его распространения — физическая единица измерения: $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ — единица неопределенности: $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Метод 1: ИК радиометрия — принцип: производная от ИК изображений на ряде каналов в «окнах» обзора. СВИК (3,7 мкм) является самым чувствительным диапазоном спектра. Применяется как на НОС, так и на ГСО.

5.6.11 Состояние снега (влажный/сухой)

Определение: двоичная продукция (сухой или тающий снег), выражающая наличие воды в жидкой фазе в слое снега — неопределенность выражена в виде УС и УЛТ при классификации состояния снега как влажного или сухого.

Метод 1: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной или рассеянной МКВ-радиации в атмосферных окнах в диапазоне средних значений высоких частот (таких как 37 ГГц, 90 ГГц). Необходимы многочисленные поляризационные измерения. Поскольку влажный снег можно спутать с почвой, расположенной под этим снегом, необходимо предварительно определять (с помощью маски представления) наличие снега. Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокационные (РСА) изображения — принцип: измерение МКВ излучения обратного рассеяния с помощью РСА на относительно высоких частотах, таких как ~10 ГГц (Х-диапазон), возможно ~19 ГГц (К-диапазон), поскольку сухой снег имеет тенденцию быть прозрачным для РСА. Лучше использовать для измерений при смене цикла таяния на цикл замерзания и наоборот. Применяется только на НОС.

5.6.12 Снежный покров

Определение: доля наблюдаемой области суши, покрытая снегом — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: ВИД/ИК радиометрия — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах или излученной радиации в СВИК/ИК-диапазонах на нескольких дискретных каналах относительно широкой полосы пропускания (5–10 %). Долевая часть покрова определяется числом пикселей, классифицированных как «снег», в заданном массиве пикселей. В качестве альтернативного метода, можно извлечь информацию по данным об уровне пикселя за счет использования «дефектов» яркости, обусловленных смешением в пикселе наличия/отсутствия снега («эффективный снежный покров»). Применяется как на НОС, так и на ГСО.

Метод 2: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ радиации в атмосферных окнах в среднем диапазоне высоких частот (таких как 37 ГГц, 90 ГГц). Требуется проводить больше поляризационных измерений. Относительная площадь снежного покрова определяется числом пикселей, классифицированных как «снег», в заданном массиве пикселей. Также определяется состояние поверхности снега (сухой или влажный). Применяется только на НОС.

Метод 3: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах на нескольких дискретных каналах. Высокая разрешающая способность достигается за счет наблюдательного цикла. Применяется только на НОС.

5.6.13 Водный эквивалент снега

Определение: вертикальная глубина слоя воды, которая была бы получена в результате таяния слоя снега. Глубина слоя снега может быть получена из вспомогательной информации о плотности слоя снега — физическая единица измерения: мм — единица неопределенности: мм.

Метод 1: МКВ радиометрия — принцип: измерение излученной и рассеянной МКВ радиации в атмосферных окнах в среднем диапазоне высоких частот (таких как 37 ГГц, 90 ГГц), предпочтительно измерять, потому что для низкочастотного излучения сухой снег прозрачен. Требуется проводить больше поляризационных измерений. Применяется только на НОС.

Метод 2: Радиолокационная скаттерометрия — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния в диапазоне малых значений средних частот (5 ГГц, 13 ГГц). Предпочтительно использовать более высокую частоту для измерений над сухим снегом. Используются многочисленные углы обзора для определения поправки на эффект шероховатости. Применяется только на НОС.

Метод 3: радиолокационные (РСА) изображения — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой на относительно высоких частотах (сухой снег прозрачен для РСА). Оптимально использование частоты ~19 ГГц (Ku-диапазон). Более низкие частоты можно использовать для мониторинга изменений методом интерферометрии. Применяется только на НОС.

5.6.14 Тип почвы

Определение: наблюдаемый состав или структура почвы (кислотная, щелочная, крупнокомковатая и т. п.). Перечень интересующих типов определяется заранее — неопределенность выражается как число дискриминантных типов (классов).

Метод 1: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах наблюдений на нескольких дискретных каналах относительно узкой полосы пропускания (1–5 %). Возможно гиперспектральное (несколько сотен каналов). Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

Метод 2: радиолокационные (РСА) изображения — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой. Применяется только на НОС.

5.6.15 Почвенно-растительный покров

Определение: наблюдаемое использование земли (городская застройка, культивируемая почва, пустынные почвы и др.). Перечень интересующих типов использования земли определяется заранее — неопределенность выражается как число определенных типов (классов).

Метод 1: оптические изображения высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах наблюдений на нескольких дискретных каналах относительно узкой полосы пропускания (1–5 %). Возможно гиперспектральное (несколько сотен каналов). Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

Метод 2: радиолокационные (РСА) изображения — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой. Применяется только на НОС.

5.6.16 **Топография поверхности суши**

Определение: карта высот поверхности суши — физическая единица измерения: м — единица неопределенности: м.

Метод 1: ВИД стереоскопия высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД-диапазоне на одном или более каналах относительно узкой полосы пропускания (1–5 %), по крайней мере, с двух направлений обзора, обычно с последовательно расположенных орбит, для того чтобы получить эффект стереоскопии. Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокационная (РСА) интерферометрия — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Интерферометрия между изображениями с последовательных орбитальных проходов спутника над районом. Применяется только на НОС.

Метод 3: радиолокационная альтиметрия — принцип: измерение излучения обратного рассеяния от поверхности суши с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно использовать двойную частоту, 13 ГГц и 3 ГГц или 5 ГГц). Необходимо использовать пассивную МКВ радиометрию на ассоциированных двух или трех каналах (23 ГГц и 37 ГГц и/или 19 ГГц) для получения поправки на путь луча в тропосфере с учетом водяного пара и обусловленного ионосферой завихрения. Для получения приемлемой разрешающей способности необходима обработка сигнала в направлении движения РСА. Только в режиме наблюдений в надир. Применяется только на НОС.

Метод 4: лидарная альтиметрия — принцип: измерение ВИД/БИК-излучения обратного рассеяния с помощью лидара. Предпочтительно использовать две длины волны, такие как 532 и 1 064 нм. Применяется только на НОС.

5.6.17 **Ледниковый покров**

Определение: доля области суши, покрытая длительно существующим льдом — физическая единица измерения: % — единица неопределенности: %.

Метод 1: ВИД стереоскопия высокого разрешения — принцип: измерение отраженной солнечной радиации в ВИД/БИК/КВИК-диапазонах спектра на нескольких дискретных каналах относительно узкой полосы пропускания (1–5 %). Применяется на НОС и потенциально на ГСО.

Метод 2: радиолокационные (РСА) изображения — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Интерферометрия используется для обнаружения изменений. Применяется только на НОС.

5.6.18 **Топография ледников**

Определение: карта высот поверхности ледника — физическая единица измерения: см — единица неопределенности: см.

Метод 1: радиолокационная (РСА) интерферометрия — принцип: измерение МКВ-излучения обратного рассеяния на частотах 1,3; 5 или 11 ГГц с помощью РСА. Интерферометрия между изображениями с последовательных орбитальных проходов спутника над районом. Применяется только на НОС.

5.7 ТВЕРДАЯ ОБОЛОЧКА ЗЕМЛИ

Этот тематический раздел состоит из переменных, характеризующих твердую оболочку Земли. В таблице 5.6 перечислены переменные, наблюдаемые из космоса.

Таблица 5.6. Геофизические переменные, рассматриваемые в тематическом разделе «Твердая оболочка Земли»

Геоид	Определение местоположения плит земной коры	Движение земной коры (горизонтальное и вертикальное)	Гравитационное поле	Гравитационные градиенты
-------	---	--	---------------------	--------------------------

5.7.1 Геоид

Определение: уровенная поверхность потенциала силы тяжести (поверхность геоида), которая точно совпала бы с осредненной поверхностью океана Земли, если бы океаны были в равновесии, в состоянии покоя и простирались бы через континенты (так чтобы между ними были очень узкие каналы) — физическая единица измерения: см — единица неопределенности: см.

Метод 1: радиолокационная альтиметрия — принцип: измерение излучения обратного рассеяния от поверхности моря с помощью среднечастотного радиолокатора (предпочтительно использовать двойную частоту, 13 ГГц и 3 ГГц или 5 ГГц). Необходимо использовать пассивную МКВ радиометрию на ассоциированных двух или трех каналах (23 ГГц и 37 ГГц и/или 19 ГГц) для получения поправки на путь луча в тропосфере с учетом водяного пара и обусловленного ионосферой завихрения. Необходимо обеспечить очень стабильные орбиты (относительно большая высота, наклонение орбиты 50°–70° и точно повторяемый цикл). Проводится многоорбитальный анализ, позволяющий отфильтровать кратковременные возмущения от волн, океанских течений и приливов/отливов.

Применяется только на НОС.

Метод 2: наблюдение гравитационного поля — принцип: измерение гравитационного поля на высоте орбиты спутника датчиками ускорения, градиометрами, отслеживанием спутника с другого спутника (спаренными спутниками или спутниками ГСОН).

Используются низкоорбитальные спутники, меняющие орбиту во время выполнения задачи полета. Применяется только на НОС.

5.7.2 Определение местоположения плит земной коры

Определение: основа мониторинга эволюции динамики литосферы — физическая единица измерения: см — единица неопределенности: см.

Метод 1: лазерное измерение дальности — принцип: точное измерение расстояние между спутником и землей с помощью наведения на спутник наземного лазера, принимающего свет, отраженный зеркалами из уголков куба, которыми покрыта поверхность спутника. Глобальная сеть позволяет обеспечивать как прецизионную орбитографию, так и определение положения плит земной коры, а также поддерживает станции лазерного измерения дальности. Применяется только на НОС.

Метод 2: приемник ГСОН — принцип: статистический анализ местоположения приемника ГСОН наземного базирования, локализованного с помощью группировки навигационных спутников (ГСОН, ГЛОНАСС, Компасс, Галилео). Применяется только на НОС.

5.7.3 Движение земной коры (горизонтальное и вертикальное)

Определение: изменения в динамике по времени местоположения плит Земли. Свидетельствует о динамике литосферы, поэтому может использоваться для предсказания землетрясения — физическая единица измерения: мм/год — единица неопределенности: мм/год.

Метод 1: лазерное измерение дальности — принцип: анализ изменений местоположения плит земной коры, точно измеренного по расстоянию между спутником и землей с помощью наведения на спутник наземного лазера, принимающего свет, отраженный зеркалами из уголков куба, которыми покрыта поверхность спутника. Глобальная сеть лазерного измерения дальности позволяет проводить такой анализ. Применяется только на НОС.

Метод 2: приемник ГСОН — принцип: анализ изменения местоположения плиты земной коры, точно измеренного приемниками ГСОН наземного базирования, локализованными с помощью группировки навигационных спутников (ГСОН, ГЛОНАСС, Компасс, Галилео). Применяется только на НОС.

5.7.4 Гравитационное поле

Определение: трехмерное поле, фактически измеренное в естественных условиях на высоте орбиты спутника. Свидетельствует о статике и динамике литосферы и мантии Земли — физическая единица измерения: мГал ($1 \text{ Гал} = 0,01 \text{ м/с}^2$, т. е. $1 \text{ мГал} \approx 10^{-6} g_0$. «Гал» означает Галилео) — единица неопределенности: мГал.

Метод 1: градиентометрия — принцип: измерения с помощью соответствующей сети датчиков ускорения, чувствительных к аномалиям гравитационного поля, пересекаемого спутником во время его движения по орбите. Применяется только на НОС.

Метод 2: отслеживание спутника с другого спутника — принцип: непрерывный мониторинг расстояния между спутниками, расположенными на скоординированных орбитах, с помощью, например, радиолокатора К-диапазона или лидара. Применяется только на НОС.

5.7.5 Гравитационные градиенты

Определение: трехмерное поле, фактически измеренное в естественных условиях на высоте орбиты спутника. Свидетельствует о мельчайших нюансах статике и динамики литосферы и мантии Земли — физическая единица измерения: Э, Этвеш ($1 \text{ Э} = 1 \text{ мГал/10 км}$) — единица неопределенности: Э.

Метод 1: градиентометрия — принцип: измерения с помощью соответствующей сети датчиков ускорения, чувствительных к аномалиям гравитационного поля, пересекаемого спутником во время его движения по орбите. Применяется только на НОС.

Метод 2: отслеживание спутника с другого спутника — принцип: непрерывный мониторинг расстояния между спутниками, расположенными на скоординированных орбитах, с помощью, например, радиолокатора К-диапазона или лидара. Применяется только на НОС.

5.8 ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРЫ

В этом тематическом разделе рассматриваются вещества, оказывающие воздействие на цикл озона, и/или провоцирующие парниковый эффект и/или влияющие на качество воздуха. В таблице 5.7 перечислены вещества, наблюдаемые из космоса и пока являющиеся предметом регулирования.

Таблица 5.7. Геофизические переменные, рассматриваемые в тематическом разделе «Химический состав атмосферы»

O ₃	C ₂ H ₂	CFC-11	CH ₂ O	ClO	CO	COS	HCl	HNO ₃	N ₂ O ₅	NO ₂	Пероксиацетил- нитрат	SF ₆
BrO	C ₂ H ₆	CFC-12	CH ₄	ClONO ₂	CO ₂	H ₂ O	HDO	N ₂ O	NO	ОН	Явление полярного стратосферного облака	SO ₂

Различные космические программы направлены на измерение состава атмосферы, и некоторые из них описаны в [главе 3](#) настоящего тома («Приборы дистанционного зондирования»). В рамках КЕОС перед Виртуальной группировкой для состава атмосферы (ВГ-СА) поставлена задача собрать и предоставить данные для улучшения мониторинга, оценки и прогнозирования изменений озонового слоя, качества воздуха и климатического воздействия, связанных с изменениями в окружающей среде. Это достигается путем координирования существующих и будущих международных космических средств. В частности, речь идет о спутниковых группировках для измерения CO₂ и качества воздуха с ГСО. Веб-страница ВГ-СА КЕОС будет полезна читателям, желающим узнать больше об измерении состава атмосферы из космоса: <http://ceos.org/ourwork/virtual-constellations/acc/>.

Обратите внимание, что в приложении к этой главе содержится описание всех переменных и требований к ним, а также ссылка на сайт ОСКАР, где изложены способы измерения этих переменных.

5.9 КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Этот тематический раздел состоит из переменных, которые характеризуют космическую погоду. Переменные, относящиеся к настоящему разделу, классифицированы ниже на три категории:

- мониторинг процессов, происходящих на Солнце (таблица 5.8);
- межпланетное космическое пространство между Солнцем и Землей, подверженное воздействию солнечного ветра (таблица 5.9);
- околоземное пространство: магнитосфера и ионосфера (таблица 5.10).

Таблица 5.8. Спутниковые наблюдения, относящиеся к мониторингу Солнца

Переменная	Описание	Физическая единица
Солнечные гамма-лучи, рентгеновские лучи, ЭУФ, УФ, ВИД	Плотность интегрированного потока Спектр потока Отображение потока	Вт·м ⁻² Вт·м ⁻² ·нм ⁻¹ Вт·м ⁻² ·арксеканс ⁻²
Ca II-K изображение солнца	K-линия Ca-II (393,4 нм)	Вт·м ⁻² ·арксеканс ⁻²
H-alpha изображение солнца	Водородный alpha переход (656,3 нм)	Вт·м ⁻² ·арксеканс ⁻²

Переменная	Описание	Физическая единица
Луман-alpha изображение солнца	Водородный Луман-alpha переход (121,6 нм)	Вт·м ⁻² ·арксеканс ⁻²
Солнечный Луман-alpha поток	Водородный Луман-alpha переход (121,6 нм)	Вт·м ⁻² ·нм ⁻¹
Солнечное магнитное поле	Магнитное поле на поверхности Солнца (фотосфера)	нТл
Спектр солнечных потоков радиоволн	Радиопоток, интегрированный по всему солнечному диску	Вт·м ⁻² ·Гц ⁻¹
Изображение солнечных радиопотоков	Радиопоток, полученный от солнечного диска	Вт·м ⁻² ·Гц ⁻¹ ·арксеканс ⁻²
Солнечные поля скорости	Трехмерная карта скорости плазмы в фотосфере	м·с ⁻¹ ·арксеканс ⁻²
Солнечное электрическое поле	Карта электрического поля в фотосфере	мВ·м ⁻¹ ·арксеканс ⁻²
Изображение солнечной короны	Изображение короны вокруг Солнца	Вт·м ⁻² ·арксеканс ⁻²

Таблица 5.9. Спутниковые наблюдения, относящиеся к межпланетному пространству между Солнцем и Землей и к солнечному ветру

Переменная	Описание	Физическая единица
Электроны, протоны, нейтроны, альфа-частицы	Плотность интегрированного потока Дифференциальный направленный поток Интегральный направленный поток	частиц·м ⁻² ·с ⁻¹ частиц·м ⁻² ·с ⁻¹ ·ср ⁻¹ ·эВ ⁻¹ частиц·м ⁻² ·с ⁻¹ ·ср ⁻¹
Тяжелые ионы [2(He) < Z ≤ 26(Fe)]	Энергия углового потока и масс-спектр Интегральный направленный поток	частиц·м ⁻² ·с ⁻¹ ·ср ⁻¹ (МэВ/нуклон) ⁻¹ частиц·м ⁻² ·с ⁻¹ ·ср ⁻¹
Космические лучи	Поток нейтронов	нейтронов·м ⁻² ·с ⁻¹
Гамма-лучи, рентгеновские лучи, ЭУФ, УФ, ВИД, БИК, КВИК излучение	Поток Спектр потока Изображение неба	Вт·м ⁻² Вт·м ⁻² ·нм ⁻¹ Вт·м ⁻² ·арксеканс ⁻²
Радиоволны	Плотность интегрированного потока	Вт·м ⁻² ·Гц ⁻¹
Изображение гелиосферы	Изображение среды солнечного ветра	Вт·м ⁻² ·арксеканс ⁻²
Межпланетное магнитное поле	Магнитное поле в солнечном ветре	нТл
Плотность солнечного ветра	Плотность плазмы солнечного ветра	частиц·см ⁻³
Температура солнечного ветра	Температура плазмы солнечного ветра	К
Скорость солнечного ветра	Скорость плазмы солнечного ветра	км·с ⁻¹

Таблица 5.10. Спутниковые наблюдения, характерные для изучения магнитосферы и ионосферы

<i>Переменная</i>	<i>Описание</i>	<i>Физическая единица</i>
Скорость ионосферной плазмы	Скорость объемной плазмы или электронов, функция высоты	км·с ⁻¹
Ионосферное мерцание	Случайные флуктуации радиоволн и коэффициента преломления	безразмерная
Общее содержание электронов в ионосфере (ОСЭ)	Количество электронов между двумя точками	TECU
Плотность электронов	Трехмерное распределение плотности электронов в ионосфере	электронов·м ⁻³
Магнитное поле	Магнитное поле в околоземном пространстве (в магнитосфере)	нТл
Электрическое поле	Величина и направление электрического поля Земли	мВ·м
Электростатический заряд	Накопленный электрический заряд на спутниковой платформе	пА·см ⁻²
Уровень радиационной дозы	Трехмерное поле мощности дозы излучения заряженных частиц	мЗв·ч ⁻¹

В следующих разделах приводятся некоторые сведения только для нескольких переменных, относящихся к ионосфере и магнитосфере.

5.9.1 **Общее содержание электронов в ионосфере**

Определение: количество электронов на пути зондирующего луча между двумя точками. Измеряется под разными углами обзора таким образом, чтобы получить вертикальные профили методом томографии. Требуются измерения в ионосфере и плазмосфере — физическая единица измерения: электрон/м², практическая единица: TECU = 10¹⁶ электрон/м² — единица неопределенности %.

Метод 1: радиозатменные измерения с помощью ГНСС — принцип: измерение дифференциальной рефракции между двумя частотами (~1,2 и ~1,6 ГГц), передаваемыми навигационным спутником и принимаемыми спутником на НОО во время фазы затмения. Измеряемое содержание электронов интегрируется вдоль пути прохождения луча на меняющихся высотах по касательной. Применяется только на НОС.

Метод 2: радиолокационная альтиметрия — принцип: измерение задержки дифференциальной фазы между сигналами от радиолокационных альтиметров с двойной частотой (~13 ГГц и ~3 ГГц или 5 ГГц). Для получения общего содержания электронов в атмосферном столбе также используется измерение чередования фаз, необходимое, главным образом, для поправки на рабочий диапазон измерения радиолокатора-высотомера. Применяется только на НОС.

Метод 3: задержка по фазе сигнала ГСОН-НОС — принцип: измерение задержки дифференциальной фазы между сигналами от передатчиков ГСОН с двойной частотой (~1,2 и ~1,6 ГГц) и приемником на НОС, использующим ГСОН для навигации. В принципе, подходит любой спутник, оборудованный навигационной системой ГСОН. Информация относится к изучению верхних слоев ионосферы и плазмосферы, т. е. к слою между высотой расположения на орбите спутника и высотой спутника ГСОН (~20 000 км). Применяется только на НОС.

5.9.2 Плотность электронов

Определение: трехмерное распределение плотности электронов. Требуются измерения в ионосфере и плазмосфере — физическая единица измерения: электроны/м³ — единица неопределенности %.

Метод 1: радиозатменные измерения с помощью ГНСС — принцип: измерение дифференциальной рефракции между двумя частотами (~1,2 и ~1,6 ГГц), передаваемыми навигационным спутником и принимаемыми спутником на НОО во время фазы затмения. Данные извлекаются с помощью метода томографии общего содержания электронов. Применяется только на НОС.

5.9.3 Магнитное поле

Определение: величина и направление магнитного поля Земли. Показатель степени геомагнитного возмущения в магнитосфере, а также в околоземном космическом пространстве. Требуются измерения в магнитосфере — физическая единица измерения: нТл (1 тесла = 104 гаусс) — единица неопределенности нТл.

Метод 1: магнитометрия — принцип: измерение как можно большим числом магнитометров в реальных условиях на орбите по мере движения спутника по орбите. Применяется на спутниках, расположенных на НОО, ГСО и на сильно вытянутой эллиптической орбите.

5.9.4 Электрическое поле

Определение: величина и направление электрического поля Земли. Требуются измерения в ионосфере — физическая единица измерения: мВ · м⁻¹ — единица неопределенности мВ · м⁻¹.

Метод 1: метод дрейфа ионов — принцип: измерение величины и направления приходящего потока ионов. Электрическое поле вычисляется как производная величина от соотношения между электрическим полем, измеренной скоростью дрейфа ионов и измеренной силой магнитного поля. Измерения *in situ* по мере движения спутника по орбите. Применяется на спутниках, расположенных на НОО и на сильно вытянутой эллиптической орбите.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ПОТРЕБНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В КОСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

База данных ОСКАР/Потребности является официальным пунктом хранения данных о **потребностях** в наблюдении физических **переменных** в поддержку осуществления программ ВМО и совместно спонсируемых программ. Эти требования поддерживаются координаторами, назначаемыми для каждой области применения. База данных служит основой процесса **регулярного обзора потребностей (РОП)**, который контролируется Объединенной экспертной группой по проектированию и эволюции систем наблюдений за Землей (ОЭГ-ПЭСНЗ) Комиссии ВМО по наблюдениям, инфраструктуре и информационным системам (ИНФКОМ).

Потребности рассматриваются на регулярной основе группами экспертов, назначаемых этими организациями и программами. В ВМО этот процесс осуществляется МПЭГ-ПЭСН и ее назначенными координаторами по каждой из **областей применений**.

Тематические направления предлагают дополнительный, сквозной взгляд на переменные и требования.

Эта оценка сделана в отношении каждого применяемого принципа дистанционного зондирования для геофизических переменных из восьми следующих тематических разделов:

- 1) основные атмосферные переменные, наблюдаемые в двух- и трехмерном измерении (3D и 2D)
- 2) переменные облаков и атмосферных осадков
- 3) аэрозоли и радиация
- 4) океан и морской лед
- 5) поверхность суши (включая снег)
- 6) твердая оболочка Земли
- 7) химический состав атмосферы
- 8) космическая погода

Потребности выражаются для геофизических переменных с точки зрения шести критериев: неопределенности, горизонтального разрешения, вертикального разрешения, цикла наблюдений, своевременности и стабильности (в соответствующих случаях). Для каждого из этих критериев в таблице указаны три значения, определенных экспертами:

- «пороговое» — минимальное требование, которое должно быть выполнено для того, чтобы данные обеспечивали полезную информацию;
- «целевое» — оптимальное требуемое значение, выше которого дальнейшие улучшения не требуются;
- «перспективное» — промежуточный уровень между пороговым и целевым значением, достижение которого приведет к значительному улучшению в целевом

применении. Перспективное значение можно считать оптимальным требованием с точки зрения соотношения затрат и результатов при планировании или проектировании систем наблюдения.

Термин «неопределенность» характеризует расчетный диапазон ошибок наблюдений по данной переменной с доверительным интервалом 68 % (1σ).

1. Основные атмосферные переменные, наблюдаемые в двух- и трехмерном измерениях (2D и 3D)

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
13	Температура атмосферного воздуха	Трехмерное поле температуры воздуха в атмосфере.
161	Удельная влажность	Трехмерное поле удельной влажности атмосферы. Удельная влажность представляет собой отношение массы водяного пара к массе влажного воздуха.
179	Ветер (горизонтальный)	Трехмерное поле горизонтального векторного компонента (2D) вектора ветра в 3D. Точность обозначается как векторная ошибка, то есть модуль векторной разницы между наблюдаемым вектором и фактическим вектором.
183	Ветер как вектор над поверхностью (горизонтальный)	Горизонтальный векторный компонент (2D) трехмерного вектора ветра, обычно измеряемый на высоте 10 м. Точность обозначается как векторная ошибка, то есть модуль векторной разницы между наблюдаемым вектором и фактическим вектором.
80	Высота верхней границы планетарного пограничного слоя (ППС)	Высота поверхности, разделяющей ППС от свободной атмосферы.
81	Высота тропопаузы	Высота поверхности, разделяющей тропосферу от стратосферы.
164	Температура тропопаузы	Температура воздуха в атмосфере на высоте поверхности, разделяющей тропосферу от стратосферы.

2. Переменные облаков и атмосферных осадков

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
36	Температура вершины облака	Температура верхней поверхности облака.
35	Высота вершины облака	Высота верхней поверхности облака.
37	Вид облаков	Результат классификации видов облаков — точность выражается как обратная величина от количества классов, так что меньшие цифры соответствуют лучшему результату.
27	Облачный покров	Трехмерное поле части неба, заполненной облаками.
26	Высота нижней границы облаков	Высота нижней поверхности облака.
34	Оптическая глубина облака	Эффективная глубина облака с точки зрения проникновения излучения. $OD = \exp(-K \cdot \Delta z)$, где K — коэффициент затухания (км^{-1}), а Δz — вертикальный путь (км) между основанием и вершиной облака.

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
32	Вода в жидкой фазе в облаке	Трехмерное поле содержания воды в атмосфере в жидкой фазе (выпадающей в виде осадков или не выпадающей).
33	Вода в жидкой фазе в облаке (общее содержание в столбе)	Двумерное поле содержания воды в атмосфере в жидкой фазе (выпадающей в виде осадков или не выпадающей), интегрированное в целом по столбу.
28	Эффективный радиус капель воды в облаке	Распределение размеров капель жидкой воды, слившихся в сферы того же объема. Рассматриваются в виде как трехмерного поля на протяжении всей тропосферы, так и двухмерного поля на верхней границе облачной поверхности.
29	Лед в облаке	Трехмерное поле содержания воды в атмосфере в твердой фазе (выпадающей в виде осадков или не выпадающей).
31	Эффективный радиус льда в облаке	Распределение размеров ледяных частиц, ассимилированных в сферы такого же объема. Рассматриваются в виде как трехмерного поля на протяжении всей тропосферы, так и двухмерного поля на верхней границе облачной поверхности.
67	Высота нулевой изотермы в облаке	Высота расположения атмосферного слоя в облаке, на которой происходит трансформация воды из жидкой в твердую фазу и наоборот.
101	Толщина слоя таяния льда в облачности	Толщина атмосферного слоя в облаке, в котором происходит трансформация воды из жидкой в твердую фазу и наоборот.
127	Атмосферные осадки (в жидкой или твердой фазе)	Трехмерное поле распределения вертикальных потоков выпадающей водяной массы (интенсивность осадков).
128	Интенсивность осадков на поверхности (в жидкой или твердой фазе)	Интенсивность атмосферных осадков, достигающих поверхности земли — физическая единица измерения: (мм/ч) (если осадки в твердой фазе, то мм/ч воды, образовавшейся после таяния) — единица точности: (мм/ч). Поскольку точность меняется с изменением интенсивности, необходимо уточнить контрольное значение интенсивности. Предполагаемая интенсивность: 5 мм/ч.
1	Суммарные осадки (за 24 часа)	Интегрирование интенсивности атмосферных осадков, достигающих поверхности земли за несколько временных интервалов. Базовым требованием является интеграция за 24 часа.
302	Обнаружение молний (совокупная плотность молний)	Общее количество обнаруженных вспышек в соответствующем временном интервале и на единицу площади. Пространственная единица (квадрат сетки) должна быть равна горизонтальному разрешению, а время накопления — циклу наблюдения.
303	Обнаружение молний (плотность молний от облаков до земли)	Количество обнаруженных вспышек от облаков до земли в соответствующем временном интервале и на единицу площади. Пространственная единица (квадрат сетки) должна быть равна горизонтальному разрешению, а время накопления — циклу наблюдения.

3. Аэрозоли и радиация

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
6	Оптическая плотность аэрозоля (ОПА)	ОПА — это эффективная плотность столба аэрозолей в атмосфере с точки зрения проникновения излучения: интеграл вертикального столба спектрального коэффициента затухания аэрозоля $ОПА = \exp(-K \cdot \Delta z)$, где K — коэффициент затухания (км^{-1}), а Δz — вертикальный путь (км).
208	Концентрация аэрозольной пыли	Трехмерное поле частиц аэрозоля среднего размера, определяемое как отношение третьего и четвертого моментов номерного распределения размеров аэрозольных частиц. Требуется измерение в тропосфере (ограничение по высоте: 12 км) и получение осредненного значения по всему атмосферному столбу
3	Эффективный радиус аэрозоля	Выбор аэрозоля, лучше всего соответствующего набору входных данных (наблюдаемых или смоделированных), из заранее определенного набора классов. В заранее определенном наборе классов аэрозолей указаны характеристики состава частиц, состояние смешения, комплексный показатель преломления и форма в зависимости от размера частиц. Определение типа аэрозоля включает характеристики всех классов, а также алгоритм, который используется для выбора наилучшего соответствия входным данным.
9	Тип аэрозоля	Выбор аэрозоля, лучше всего соответствующего набору входных данных (наблюдаемых или смоделированных), из заранее определенного набора классов. В заранее определенном наборе классов аэрозолей указаны характеристики состава частиц, состояние смешения, комплексный показатель преломления и форма в зависимости от размера частиц. Определение типа аэрозоля включает характеристики всех классов, а также алгоритм, который используется для выбора наилучшего соответствия входным данным.
173	Аэрозольный вулканический пепел	Трехмерное поле отношений концентраций компонентов смеси вулканического пепла.
174	Аэрозольный вулканический пепел (общее содержание в столбе)	Двумерное поле массы вулканического пепла, интегрированное по столбу в целом.
51	Нисходящий поток коротковолнового (КВ) излучения на ВГА	Плотность потока солнечного излучения на верхней границе атмосферы.
168	Восходящий поток спектральной плотности излучения на ВГА	Мощность восходящего излучения, измеренная в верхней части атмосферы на единицу площади, на телесный угол и на интервал длины волны. Спектральный диапазон 0,2–200 мкм. Разрешающая способность $\lambda/\Delta\lambda = 1\,000$. Точность указывается как $C/\text{Ш}$ (отношение сигнал/шум) (фактически используется $C/\text{Ш}^{-1}$, так что меньшая цифра означает лучший результат, как обычно).
169	Восходящий поток длинноволнового (ДВ) излучения на ВГА	Плотность потока земного излучения, испускаемого земной поверхностью и атмосферными газами, аэрозолями и облаками на верхней границе атмосферы.
167	Восходящий поток коротковолнового (КВ) излучения на ВГА	Плотность потока солнечного излучения, отраженного земной поверхностью и атмосферой, излучаемого в космос на верхней границе атмосферы.
141	Отражение коротковолнового излучения от облаков	Отражение солнечного излучения от облаков.

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
52	Нисходящий поток длинноволнового (ДВ) излучения на поверхности Земли	Плотность потока излучения, испускаемого атмосферными газами, аэрозолями и облаками на поверхность Земли.
50	Нисходящий поток коротковолнового (КВ) излучения на поверхности Земли	Плотность потока солнечного излучения на поверхности Земли.
54	Альбедо поверхности Земли	Интегрированное в масштабе полушария отражение излучения от поверхности Земли в диапазоне 0,4–0,7.
55	Двунаправленное отражение коротковолнового (КВ) излучения от поверхности Земли	Отражение от поверхности Земли как функция угла обзора и условий освещенности в диапазоне 0,4–0,7. Распределение этой переменной представлено двулучевой функцией отражательной способности (ДФОС).
170	Восходящий поток длинноволнового (ДВ) излучения на поверхности Земли	Плотность потока земного излучения, исходящего от поверхности Земли.
100	Длинноволновое излучение поверхности Земли	Излучательная способность поверхности Земли в тепловом ИК-диапазоне как функция длины волны.
126	Активная радиация фотосинтеза (АРФ)	Поток нисходящих фотонов с длиной волны 0,4–0,7.
65	Доля поглощаемой активной радиации фотосинтеза (ДПАРФ)	Доля АРФ, поглощаемая растительностью (наземной или морской) для осуществления процессов фотосинтеза (обычно вблизи частот «красного» участка спектра).

4. Океан и морской лед

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
110	Концентрация хлорофилла в океане	Индикатор живой биомассы фитопланктона, получаемый из наблюдений за цветностью океана. Неопределенность выражается в мг/м ³ для заданной концентрации 1 мг/м ³ .
42	Цветность растворенных органических веществ (ЦРОВ)	Оптически измеряемый компонент растворенного органического вещества в воде.
117	Концентрация взвешенных наносов в океане	Значение переменной получают из наблюдений за цветностью океана. Показывает речной сток, наносы или загрязнения веществами небиологического происхождения. Неопределенность выражается в г/м ³ при заданной концентрации (например, 2 г/м ³).
111	Коэффициент диффузионного ослабления в океане	Индикатор мутности воды и вертикальных процессов в океане, значение получают из наблюдений за цветностью океана.
121	Площадь нефтяных разливов	Доля района океана, загрязненная углеводородами, случайно или преднамеренно сбрасываемыми с судов или морских платформ.

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
134	Температура поверхности моря	Температура морской воды на поверхности. «Среднемассовая» температура относится к слою воды до глубины обычно 2 м от поверхности, температура «поверхностной пленки океана» относится к верхнему слою воды толщиной 1 мм.
133	Соленость поверхности моря	Соленость морской воды в поверхностном слое (верхний ~ 1 м при наблюдении в МКВ). Для районов открытого океана правильно использовать термин «хлореность» для того, чтобы указать на разнообразие присутствующих солей.
112	Динамическая карта поверхности океана	Отклонение уровня моря от геоида в результате воздействия океанских течений (после внесения поправок на воздействие прилива/отлива и атмосферного давления) — физическая единица измерения: см — единица точности: см.
40	Уровень моря в прибрежных районах (приливы и отливы)	Отклонение уровня моря от местного нулевого уровня в прибрежной зоне в результате воздействия местных течений и приливов/отливов (астрономического и ветрового происхождения).
142	Высота значительных волн	Средняя амплитуда 30 самых высоких из 100 волн.
48	Преимущественное направление волн	Одна из особенностей спектральной характеристики океанских волн. Это направление волны с самой большой энергией в спектре — физическая единица измерения: градусы — единица точности: градусы.
49	Преимущественный период волн	Период волны с самой большой энергией в спектре океанских волн.
176	Частотный спектр направленной энергии волн	Двухмерная переменная, иначе называемая «волновой спектр». Описывает энергию волн, распространяющуюся в каждом направлении и частотном диапазоне (например, 24 различных азимутальных сектора, каждый шириной в 15°, и 25 частотных диапазонов).
135	Морской ледовый покров	Часть площади океана, на которой имеется лед.
138	Толщина морского льда	Толщина ледового покрова. Она относится к высоте поверхности морского льда над уровнем моря и к плотности льда
139	Вид морского льда	Переменная, объединяющая несколько факторов (возраст, неровность рельефа, плотность и т. д.) — точность выражается в количестве классов. Фактически используются классы ¹ , так что меньшее значение, как обычно, соответствует лучшему результату.

5. Поверхность суши (включая снег)

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
96	Температура поверхности суши	Температура видимой поверхности суши (оголенная почва или растительность) — физическая единица измерения: К — единица точности: К.
149	Влажность почвы на поверхности	Относительное содержание воды в объеме влажной почвы. Поверхностный слой (верхние несколько сантиметров).
148	Влажность почвы (в корнеобитаемом слое почвы)	Трехмерное поле относительного содержания воды в объеме влажной почвы в подпочвенном слое. Требуемое измерение в слое от поверхности вглубь почвы до ~3 м.

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
66	Доля поверхности суши, покрытая растительностью	Доля области суши, на которой имеется растительность.
172	Тип растительности	Результат классификации различных типов растительности в пределах области, покрытой растительностью — точность выражается как обратная величина от количества классов, так что меньшие цифры соответствуют лучшему результату.
98	Индекс листовой поверхности (ИЛП)	ИЛП — это общая односторонняя площадь фотосинтезирующих тканей на единицу площади поверхности земли.
107	Приведенный разностный индекс растительности (ПРИР)	Разница между максимальной (в БИК-диапазоне) и минимальной (в районе «красной» области спектра) отражающей способностью растительности, приведенная к суммированию. Является репрезентативной величиной для общей биомассы и вспомогательной величиной для расчета ИЛП, если он не измеряется напрямую.
60	Долевая часть покрова, охваченная пожаром	Доля области суши, охваченная пожаром.
62	Температура пожара	Температура пожара, происходящего в пределах определенной площади.
61	Энергия излучения от пожара	Энергия, излучаемая пожаром, происходящим в пределах определенной площади.
144	Состояние снега (влажный/сухой)	Двоичная продукция (сухой или тающий снег), выражающая наличие воды в жидкой фазе в слое снега — точность выражена в виде ударной скорости (УС) и уровня ложной тревоги (УЛТ).
143	Снежный покров	Часть данной площади, которая покрыта снегом.
145	Водный эквивалент снега	Вертикальная высота воды, которая была бы получена в результате таяния снежного слоя. Связана с высотой снега через плотность снежного слоя.
150	Тип почвы	Результат классификации различных типов почвы в пределах района - точность выражается как обратная величина от количества классов, так что меньшие цифры соответствуют лучшим характеристикам.
95	Земной покров	Обработка данных на основе снимков земной поверхности путем отнесения выявленного(ых) кластера(ов) в пределах заданной области к определенным классам объектов - точность выражается как количество классов. Фактически используются классы ¹ , так что меньшее значение, как обычно, соответствует лучшему результату.
97	Топография поверхности суши	Карта высот поверхности суши — физическая единица измерения: м — единица точности: м.
69	Ледниковый покров	Доля области суши, покрытая многолетним льдом.
71	Топография ледников	Карта высот поверхности ледника.

6. Твердая оболочка Земли

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
68	Геоид	Уровенная поверхность потенциала силы тяжести (поверхность геоида), которая точно совпала бы с осредненной поверхностью океана Земли, если бы океаны были в равновесии, в состоянии покоя и простирались бы через континенты (так чтобы между ними были очень узкие каналы) — физическая единица измерения: см — единица точности: см.
46	Определение местоположения плит земной коры	Основа мониторинга эволюции динамики литосферы — физическая единица измерения: см — единица точности: см.
45	Движение земной коры (горизонтальное и вертикальное)	Изменения в динамике по времени местоположения и высоты плит Земли. Свидетельствует о динамике литосферы, поэтому может использоваться для предсказания землетрясения — физическая единица измерения: мм/год — единица точности: мм/год.
72	Гравитационное поле	Свидетельствует о статике и динамике литосферы и мантии Земли — физическая единица измерения: мГал, где 1 Гал = 0,01 м/с ² .
73	Гравитационные градиенты	Градиент гравитационного поля Земли, измеренный на высоте орбиты спутника — физическая единица измерения: Э, Этвеш (1 Э = 1 мГал/10 км) — единица точности: Э.

7. Химический состав атмосферы

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
108	Количество фракции вещества O₃	Трехмерное поле мольной доли O ₃ (озона).
109	Общее содержание O₃ в столбе	Двумерное поле озона, интегрированное по столбу в целом.
16	BrO	Трехмерное поле мольной доли BrO = монооксида брома.
17	C₂H₂	Трехмерное поле мольной доли C ₂ H ₂ = ацетилена в сухом воздухе.
18	C₂H₆	Трехмерное поле мольной доли C ₂ H ₆ = этана в сухом воздухе.
19	ХФУ-11	Трехмерное поле мольной доли ХФУ-11 = трихлорфторметана = Фреона-11 в сухом воздухе — физическая единица: моль/моль.
20	ХФУ-12	Трехмерное поле мольной доли ХФУ-12 = дихлорфторметана = Фреона-12 в сухом воздухе.
21	Количество фракции веществ HCHO (CH₂O)	Трехмерное поле мольной доли HCHO (CH ₂ O) = формальдегида в сухом воздухе.
22	Общее содержание HCHO (CH₂O) в столбе	Двумерное поле концентрации CH ₂ O = HCHO = формальдегида, интегрированное по всему атмосферному столбу.
23	Количество фракции веществ CH₄	Трехмерное поле мольной доли CH ₄ (метана) в сухом воздухе. Примечание: неопределенность здесь подразумевается как совместимость.
315	Общее содержание CH₄ в столбе	Двумерное поле усредненного по столбу количества CH ₄ (метана) (выраженного в молях), поделенного на общее количество всех компонентов в сухом воздухе (также выраженное в молях).
318	(13)CH₄ дельта	Трехмерное поле дельта C-13 в CH ₄ (метане) (изотопный состав).

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
319	(14)CH₄ дельта	Трехмерное поле дельта C-14 в CH ₄ (метане) (изотопный состав).
320	CH₃D дельта	Трехмерное поле дельта дейтерия (H-2) в CH ₄ (метане) (изотопный состав).
340	Содержание CH₄ в тропосферном столбе	Двумерное поле усредненного по тропосферному столбу количества CH ₄ (выраженного в молях), поделенного на общее количество всех компонентов в сухом воздухе (также выраженное в молях).
346	Количество CH₄ в доле вещества (фоновое (ФОН))	Трехмерное поле количества фонового (ФОН) CH ₄ (метана) (выраженного в молях), разделенного на общее количество всех составляющих в сухом воздухе (также выраженное в молях).
347	Количество CH₄ в доле вещества (область источника (ОИ))	Трехмерное поле количества CH ₄ (метана) в области источника (выраженного в молях), разделенного на общее количество всех составляющих в сухом воздухе (также выраженное в молях).
24	Окись хлора (ClO)	Трехмерное поле мольной доли ClO = монооксид хлора = гипохлорит.
25	Нитрат хлора (ClONO₂)	Трехмерное поле мольной доли ClONO ₂ = нитрат хлора.
38	Количество фракции вещества CO	Трехмерное поле мольной доли CO (монооксида углерода) в сухом воздухе. Примечание: неопределенность здесь подразумевается как совместимость.
329	Общее содержание CO в столбе	Двумерное поле общего количества молекул CO (монооксида углерода) на единицу площади в атмосфере от поверхности до верхней границы атмосферы.
343	Количество фракции вещества CO	Двумерное поле усредненного по тропосферному столбу количества CO (выраженного в молях), поделенного на общее количество всех компонентов в сухом воздухе (также выраженное в молях).
123	Парциальное давление CO₂ (pCO₂)	Парциальное давление диоксида углерода на поверхности моря.
185	Поток CO₂	Поток диоксида углерода с поверхности в атмосферу.
314	Общее содержание CO₂ в столбе	Двумерное поле усредненного по столбу количества CO ₂ (выраженного в молях), поделенного на общее количество всех компонентов в сухом воздухе (также выраженное в молях).
316	C-14 в CO₂ (C(14)CO₂ дельта)	Трехмерное поле дельта C-14 в CO ₂ (диоксид углерода) (изотопный состав).
332	C-13 в CO₂ (C(13)CO₂ дельта)	Трехмерное поле дельта C-13 в CO ₂ (диоксид углерода) (изотопный состав).
317	O-18 в CO₂ (O(18)CO₂ дельта)	Трехмерное поле дельта O-18 в CO ₂ (диоксид углерода) (изотопный состав).
326	O-17 в CO₂ (O(17)CO₂ дельта)	Трехмерное поле дельта O-17 в CO ₂ (диоксид углерода) (изотопный состав).
337	Содержание CO₂ в тропосферном столбе	Двумерное поле усредненного по тропосферному столбу количества CO ₂ (выраженного в молях), поделенного на общее количество всех компонентов в сухом воздухе (также выраженное в молях).
39	Количество фракции вещества CO₂	Трехмерное поле мольной доли CO ₂ (диоксида углерода) в сухом воздухе. Примечание: неопределенность здесь подразумевается как совместимость.

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
338	Количество CO_2 в доле вещества (область источника (ОИ))	Трехмерное поле усредненного по атмосферному столбу количества CO_2 (диоксид углерода) в области источника (выраженного в молях), разделенного на общее количество всех составляющих в сухом воздухе (также выраженное в молях).
339	Количество CO_2 в доле вещества (фоновое (ФОН))	Трехмерное поле усредненного по атмосферному столбу фоновое (ФОН) количества CO_2 (диоксид углерода) (выраженного в молях), разделенного на общее количество всех составляющих в сухом воздухе (также выраженное в молях).
43	Сероксид углерода (COS)	Трехмерное поле мольной доли COS = сероксида углерода.
76	Водяной пар	Трехмерное поле мольной доли H_2O = воды (рассматривается как химическое вещество, значимое для химического состава атмосферы).
77	Хлороводород (HCl)	Трехмерное поле мольной доли HCl = хлороводорода.
78	HDO (полутяжелая вода)	Трехмерное поле мольной доли HDO = водяной пар (с одним атомом водорода, замещенным его изотопом дейтерием).
84	Азотная кислота (HNO_3)	Трехмерное поле мольной доли HNO_3 (азотной кислоты).
102	Закись азота (N_2O)	Трехмерное поле мольной доли N_2O = закись азота в сухом воздухе.
324	Дельта N-15 в N_2O ($\text{N}(15)\text{NO}$ дельта)	Трехмерное поле дельта N-15 в N_2O (закись азота) (изотопный состав).
325	Дельта O-18 в N_2O ($\text{N}_2\text{O}(18)$ дельта)	Трехмерное поле дельта O-18 в N_2O (закись азота) (изотопный состав).
333	N(15)NO-альфа дельта	Трехмерное поле дельта N-15 в альфа- N_2O (закись азота, где внешний атом азота — это N-15) (изотопный состав).
334	N(15)NO-бета дельта	Трехмерное поле дельта N-15 в бета- N_2O (закись азота, где средний атом азота — это N-15) (изотопный состав).
351	Количество фракции вещества N_2O_5	Трехмерное поле количества N_2O_5 (выраженного в молях), разделенного на общее количество всех составляющих в сухом воздухе (также выраженное в молях).
104	Количество фракции вещества NO	Трехмерное поле мольной доли NO (окись азота).
106	Общее содержание NO_2 в столбе	Двумерное поле NO_2 (двуокиси азота), интегрированное по столбу в целом.
342	Содержание NO_2 в тропосферном столбе	Двумерное поле усредненного по тропосферному столбу количества NO_2 (выраженного в молях), поделенного на общее количество всех компонентов в сухом воздухе (также выраженное в молях).
105	Количество фракции вещества NO_2	Трехмерное поле мольной доли NO_2 (двуокиси азота).
348	Количество NO_2 в доле вещества (фоновое (ФОН))	Трехмерное поле количества фоновое (ФОН) NO_2 (выраженного в молях), разделенного на общее количество всех составляющих в сухом воздухе (также выраженное в молях).
349	Количество NO_2 в доле вещества (область источника (ОИ))	Трехмерное поле количества NO_2 (выраженного в молях) в области источника (ОИ), разделенного на общее количество всех составляющих в сухом воздухе (также выраженное в молях).
120	Количество фракции вещества OH	Трехмерное поле количества OH (гидроксильный радикал).

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
140	Гексафторид серы (SF_6)	Трехмерное поле мольной доли SF_6 = гексафторида серы в сухом воздухе. Примечание: неопределенность здесь подразумевается как совместимость.
147	Общее содержание SO_2 в столбе	Двумерное поле SO_2 (гексафторида серы), интегрированное по столбу в целом.
146	Количество фракции вещества SO_2	Трехмерное поле мольной доли SO_2 (двуокись серы).

8. Космическая погода

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
594	Общее содержание электронов в ионосфере (ОСЭ) по вертикали	Число электронов между двумя точками.
591	Скорость ионосферной плазмы	Скорость объемного плазмона и электронов (в зависимости от метода измерения) как функция высоты в ионосфере.
593	Ионосферное мерцание	Случайные флуктуации радиоволн в результате мелкомасштабных вариаций плотности ионосферных электронов в пространстве и времени.
592	Поглощение радиосигнала в ионосфере	Ослабление радиоволн, проходящих через нижние слои ионосферы.
Нет	Плотность электронов	Трехмерное поле плотности электронов в ионосфере.
Нет	Плотность потока электронов	Плотность потока электронов низкой, средней и высокой энергии из магнитосферы, радиационных поясов или межпланетного пространства.
739	Дифференцированный направленный поток электронов	Энергетический спектр плотности потока электронов низкой, средней и высокой энергии из магнитосферы, радиационных поясов или межпланетного пространства, на единицу телесного угла.
740	Дифференциальный направленный поток протонов	Спектр энергетической плотности потока протонов низкой, средней и высокой энергии из магнитосферы, радиационных поясов или межпланетного пространства, на единицу телесного угла.
598	Магнитное поле Солнца	Векторное магнитное поле (одно- и трехмерное) на поверхности Солнца (фотосфера/хромосфера).
603	Поток солнечного ЭУФ	Интегрированный поток экстремального ультрафиолетового излучения (ЭУФ) над солнечным диском.
600	Поток солнечного рентгеновского излучения	Интегрированный по солнечному диску поток рентгеновского излучения.
609	Геомагнитное поле	Величина и направление трехмерного магнитного поля на поверхности Земли и в пределах магнитосферы (то есть на НОО и ГСО).

ID	Переменная (ссылка на ОСКАР/Потребности)	Определение
613	Межпланетное магнитное поле	Векторное магнитное поле (трехмерное) в солнечном ветре. Система отсчета является картезианской или цилиндрической с многочисленными различными ориентациями осей. Имеет важное значение в космической погоде для мониторинга магнитных возмущений в околоземном пространстве.
590	Электрическое поле	Величина и направление электрического поля Земли.
Нет	foEs	Наивысшая обычная частота волны, отражаемой обратно от спорадического слоя E и наблюдаемой при помощи ионозонда.
581	foF2	Критическая частота слоя F2 ионосферы. Эта критическая частота (f, в МГц) ассоциирует с плотностью электронов (Ne, в см ⁻³): $f = 9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{Ne}$.
582	h'F	Вертикальная высота нижней границы ионосферного слоя F.
583	hmF2	Высота пиковой плотности в ионосферном слое F2.
589	Рассеяние F	Вертикальная толщина высокоструктурированной плотности ионов в области F ионосферы.
611	Изображение гелиосферы	Изображение межпланетарного пространства между Солнцем и Землей.
588	Изображение Солнца в К-линии Ca II	Изображение Солнца в К-линии Ca-II (393,4 нм).
599	Изображение солнечного ЭУФ	Изображения Солнца в крайнем ультрафиолетовом (ЭУФ) диапазоне волн для выявления таких особенностей, как нити, активные области и корональные дыры.
601	Изображение Солнца в диапазоне H-альфа	Изображение Солнца на длине волны (656,3 нм) линии водорода H-альфа.
602	Изображение белого солнечного света	Изображение Солнца в белом свете.
605	Изображение солнечного рентгеновского излучения	Изображение Солнца в длинах волн в рентгеновском диапазоне.
609	Коронаграфическое изображение Солнца	Изображение солнечной короны вокруг Солнца.
615	Общее содержание электронов в ионосфере (ОСЭ) по вертикали	Число электронов между двумя точками.