

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R RS.1883
(02/2011)

Использование систем дистанционного зондирования в исследовании изменения климата и его последствий

Серия RS
Системы дистанционного зондирования



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 МСЭ-R.

Электронная публикация
Женева, 2011 г.

© ITU 2011

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RS.1883

Использование систем дистанционного зондирования в исследовании изменения климата и его последствий

(2011)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводятся руководящие указания по предоставлению данных спутникового дистанционного зондирования для целей изучения изменения климата.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что изменение климата относится к явлениям глобального характера, затрагивающим все человечество;
- b) что изменение климата, как ожидается, будет проявляться в серьезных изменениях в окружающей среде Земли, в свою очередь порождающих или усугубляющих стихийные бедствия;
- c) что для изучения изменения климата требуется наличие действительно совместимых средств глобального наблюдения Земли, которые могут быть представлены исключительно контрольно-измерительными приборами и датчиками дистанционного зондирования, установленными на борту спутника;
- d) что такие бортовые датчики дистанционного зондирования существуют и эксплуатируются в полосах частот, в настоящее время распределенных спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ),

признавая,

- a) что в Резолюции 673 (ВКР-07) "Использование радиосвязи для применений наблюдения Земли" предусматривается, что "данные наблюдения Земли также имеют важнейшее значение для мониторинга и прогнозирования изменения климата, ...для обеспечения более глубокого понимания, моделирования и проверки всех аспектов изменения климата, а также для связанного с этим процесса формирования политики, и отмечается, что более 90 процентов стихийных бедствий связаны с климатом или погодными условиями; ...что хотя метеорологические спутники и спутники наблюдения Земли в настоящее время эксплуатируются лишь ограниченным числом стран, данные и/или соответствующие результаты анализа, получаемые в результате их эксплуатации, распространяются и используются повсюду в мире... организациями, занимающимися вопросами, связанными с изменением климата";
- b) что в Резолюции 672 (ВКР-07) "Расширение распределения метеорологической спутниковой службе, имеющегося в полосе 7750–7850 МГц" признается, что данные, получаемые этими метеорологическими спутниками, имеют важнейшее значение для глобального прогнозирования погоды, изменений климата и прогнозирования опасностей,

отмечая,

- a) что в Резолюции 73 МСЭ-Т "Информационно-коммуникационные технологии и изменение климата" признается, что информационно-коммуникационные технологии могут внести существенный вклад в смягчение последствий изменения климата и адаптацию к ним, как это представлено в Приложении 1, и что ИКТ играют жизненно важную роль в мониторинге изменения климата и решении связанных с этим задач благодаря поддержке фундаментальных научных исследований, что помогло донести вопрос об изменении климата до сведения широкой общественности и повысить уровень осведомленности о будущей проблемах;

б) что в Отчете МСЭ "ИКТ и изменение климата" говорится об укреплении стратегического партнерства с различными учреждениями ООН, Всемирным банком, Европейской комиссией, международными и национальными учреждениями и организациями (например, с метеорологическими учреждениями, такими как Группа по наблюдению Земли, EUMETSAT, ESA, Группа по координации пространственных частот, JAXA, NOAA, НАСА и Роскосмос), НПО, а также организациями частного сектора, участвующими в борьбе с изменением климата, и обращается внимание на роль ССИЗ в мониторинге изменения климата;

с) что в Отчете МСЭ-R RS.2178 содержится обширный анализ различных применений радиосвязи, используемых для наблюдения Земли, космических исследований и радиоастрономии, и описываются их общественное значение и экономические выгоды для мирового сообщества и, в частности, их значение для мониторинга и прогнозирования изменения климата, а также для целей раннего предупреждения, мониторинга и смягчения последствий техногенных и стихийных бедствий,

рекомендует,

1 чтобы администрации признавали важность спутниковых датчиков дистанционного зондирования для изучения изменения климата, как это поясняется в Приложениях;

2 чтобы операторы продолжали предоставлять данные об окружающей среде, относящиеся к изменению климата;

3 уделять особое внимание средствам защиты систем, обеспечивающих важнейшие наблюдения за состоянием климата.

Приложение 1

Использование систем дистанционного зондирования в исследовании изменения климата и его последствий

1 Введение

Космический летательный аппарат ССИЗ обычно обеспечивает глобальный охват, используя одни и те же или функционально идентичные приборы. Таким образом, они предоставляют массивы данных, сопоставимых во всем мире. Зачастую такие массивы данных совпадают по времени и позволяют выстроить непрерывные массивы данных, охватывающие десятилетия. И хотя такие массивы данных не охватывают столетия или тысячелетия, они все же содержат важнейшую информацию, необходимую для тех, кто занимается изучением изменения климата.

Спутники являются наилучшим средством получения моментального снимка нынешнего состояния нашей планеты с единой, унифицированной позиции. Ни один оснащенный приборами космический летательный аппарат не в состоянии обеспечить полную картину; однако нынешний парк космических летательных аппаратов, работающих во взаимодействии друг с другом и обменивающихся своими данными, вероятно, дает нам наиболее точную оценку глобальных условий, в которых мы находимся.

Эти данные служат для достижения двух целей:

- обеспечить основу для мониторинга и измерения климата и его последствий для нашей планеты;
- предоставить обоснованные с научной точки зрения данные для построения климатических моделей.

Климатология заметно продвинулась вперед благодаря наблюдениям, осуществляемым с помощью спутников. Радиометр, использовавшийся на спутнике Explorer 7 с 1959 по 1961 год, сделал возможным непосредственное измерение энергии, поступающей к Земле и покидающей ее. Этот и последующие полеты позволили ученым измерить энергетический баланс Земли с гораздо более высокой по сравнению с использовавшимися ранее косвенными оценками степенью достоверности, что привело к разработке усовершенствованных климатических моделей. По мере того как радиометры совершенствовались, эти измерения становились все более точными, позволяя обеспечить пространственное разрешение и глобальный охват, необходимые для прямого наблюдения за изменениями в глобальном энергетическом балансе Земли, связанными с кратковременными явлениями, например крупными извержениями вулканов или Южным колебанием – Эль-Ниньо. Эти радиометры напрямую измеряют перенос тепла от экватора к полюсам климатической системой, парниковый эффект от газовых примесей атмосферы и влияние облаков на энергетический баланс Земли. Эти наблюдения позволили нам лучше понять климатическую систему и усовершенствовать климатические модели.

Спутники участвуют в исследовании атмосферы (например, AURA) и оказании поддержки оперативной метеорологии (например, серия европейских метеорологических спутников MetOp и серия спутников на полярной орбите Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA)), ежедневно предоставляя трехмерные профили температуры и влажности атмосферы во всем мире, а также данные, касающиеся мельчайших частиц атмосферы, например озона. Хотя эти данные введены в модели прогноза погоды, они служат также для определения текущего состояния атмосферы и проведения кратковременных испытаний климатических моделей.

Мониторингом других свойств земли занимаются космические летательные аппараты, не участвующие в деятельности, связанной с исследованием атмосферы. Так, например, мы можем отметить:

- серию космических летательных аппаратов Landsat и SPOT, которые на протяжении десятилетий осуществляют мониторинг поверхности Земли;
- спутники QuikSCAT, а также ADEOS-1 и -2, осуществлявшие мониторинг скорости ветра у поверхности моря;
- серию спутников TOPEX/Poseidon и Jason, которые осуществляют мониторинг уровней и температуры поверхностных слоев моря;
- спутник SMOS и другие, например Aquarius и SMAP, которые осуществляют или будут осуществлять мониторинг влажности почвы и солености океанических вод.

Другие космические летательные аппараты и технологии, такие как радиолокатор с синтезированной апертурой (SAR), а также пассивные микроволновые измерения, расширяют возможности описания нашей планеты, в частности при осуществлении наблюдений в районах заполярья, где темнота в зимнее время не позволяет получить оптические изображения.

2 Лед или криосфера

Один из центральных вопросов при изучении изменения климата и криосферы (области льда) состоит в том, чтобы понять, как потепление климата отразится на ледяном покрове. Это важно, поскольку объем материкового льда и талой воды, поступающей в океан, сильно влияет на изменение уровня моря. Пока не было спутников, информация о полярных районах ограничивалась данными, полученными на местном уровне на протяжении благоприятного времени года. Использование бортовых спутниковых контрольно-измерительных радиоприборов оказалось особенно полезным в районах заполярья, поскольку в этих районах в зимнее время существует продолжительный период темноты, когда измерения в спектре видимого излучения не возможны. Синоптическое наблюдение со спутников, в частности, со спутников, оснащенных датчиками, работающими на радиочастотах, на много порядков увеличивает охват данных о районах заполярья, и доступ к ним больше не ограничивается временем года.

До появления спутников считалось, что баланс массы ледяного покрова Антарктики и Гренландии регулируется разницей между таянием льдов и скоростью накопления осадков, а скорость стока льда в океан является постоянной. Изображения, полученные с помощью радиолокационной станции спутника RADARSAT, показали, что:

- 1 скорость схода ледяного покрова крайне изменчива;
- 2 существуют сложные сети ледяных потоков;

- 3 скорость движения ледяного потока в направлении моря заметно увеличилась вследствие изменения климата.

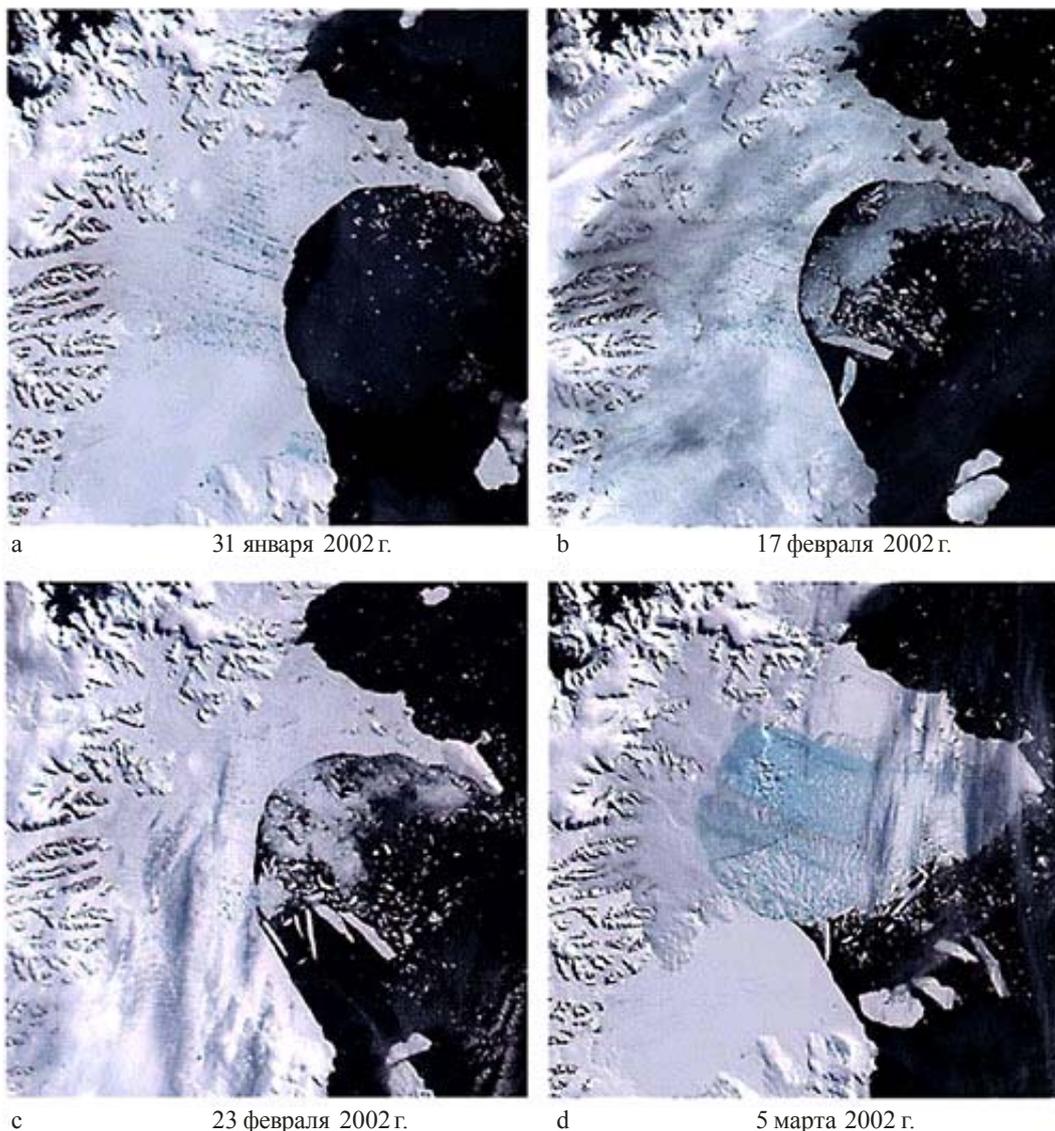
Одним из показателей изменения климата/глобального потепления является отступление, а не наступление ледяного покрова (как ледников, так и морского льда). Изучение режимов ледника во всем мире показывает, что с конца 1970-х при явном ускорении в конце 1980-х годов, наблюдается масштабная утрата ледяного покрова. Дистанционное зондирование используется для документального подтверждения изменений в протяженности ледника (размере ледника) и расположении границы питания ледника (отметка на леднике, на уровне которой накопления осадков зимой компенсируется таянием льдов в летнее время). С 1972 года спутники обеспечивают изображение протяженности ледников в оптическом диапазоне частот. SAR в настоящее время используется для изучения зон накопления ледяного снега и таяния льда для того, чтобы определить внешнее воздействие на климат, а лазерная альтиметрия используется также для измерения изменений в наивысшей точке ледника.

Поскольку ледники реагируют на прошлые и текущие изменения климата, то в настоящее время проводится полная глобальная оценка ледника для того, чтобы установить его нынешнюю протяженность и отслеживать скорость изменений ледника во всем мире. В проекте Глобальные измерения материкового льда из космоса используются данные ASTER (усовершенствованный космический термоэмиссионный и отражающий радиометр) и усовершенствованного тематического картографа Landsat для оценки около 160 000 ледников во всем мире. Результаты этих измерений и анализ вытекающих из этого тенденций являются важными показателями изменения климата и подтверждают ценность и важность массива данных многолетних наблюдений для понимания сложной климатической системы.

Мониторинг состояния ледяного покрова легко наладить с помощью бортовых спутниковых контрольно-измерительных приборов как активных, так и пассивных. Вскрытие мощных ледяных покровов (например, ледового шельфа Ларсена В) в Антарктике наблюдалось из космоса. Эти вскрытия, если и не были вызваны глобальным потеплением, то ускорились в результате этого процесса. Вскрытие ледового шельфа Ларсена В в Антарктике в 2002 году, которое удалось обнаружить только благодаря многократному охвату изображением, получаемым с помощью спутников, наглядно проиллюстрировало динамику изменения ледяного покрова за удивительно короткий период времени (рис. 1). Эти открытия наглядно показывают серьезные последствия: быстрый сход льда материкового ледяного покрова в море может привести к значительному повышению уровня моря.

РИСУНОК 1

Вскрытие ледового шельфа Ларсена В в Западной Антарктике.
2 000 км² ледового шельфа отделилось только в течение 2 дней



RS.1883-01

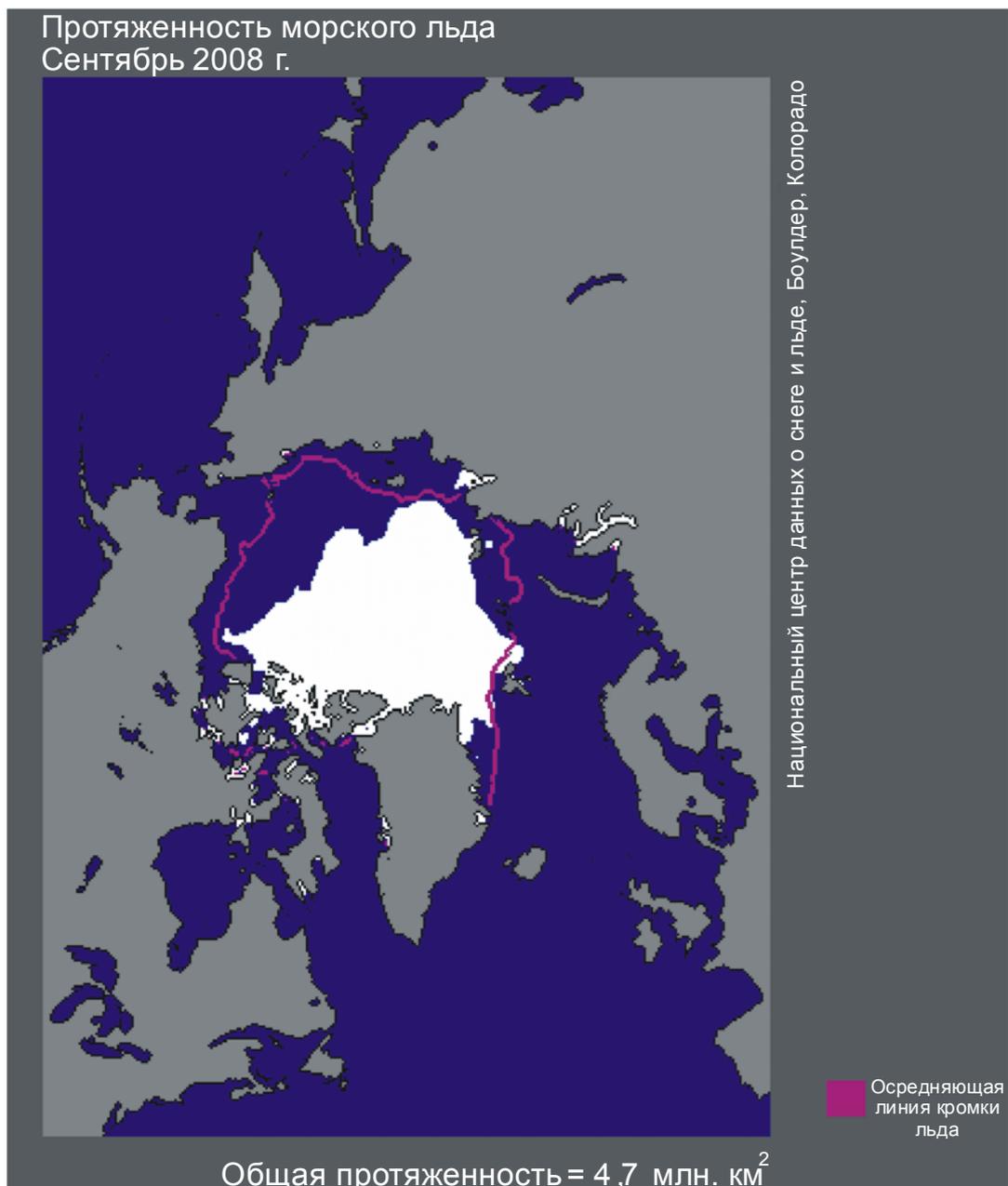
Источник: *Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*, p. 3, 2008, можно загрузить по адресу URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

Мониторинг состояния морского льда осуществляется постоянно с помощью пассивных микроволновых датчиков (радиометр сантиметрового диапазона с электрической системой сканирования (ESMR), сканирующий многоканальный микроволновой радиометр (SMMR), специальный датчик для получения изображений в микроволновом диапазоне (SSM/I) и усовершенствованный сканирующий радиометр СВЧ-система наблюдения Земли (AMSR-E)) с 1979 года. Независимые от погодных условий и уровня освещенности, они полностью пригодны для мониторинга состояния морского льда, благодаря сильному контрасту в сверхвысокочастотном излучении между открытой и скованной льдом поверхностями океана. Массив данных долгосрочных 35-летних наблюдений, полученных с использованием этих пассивных микроволновых датчиков, позволил подготовить анализ тенденции, далеко выходящий за рамки строгого анализа междугодовой изменчивости морского льда. За период с 2000 года в Арктике на протяжении 4 из 6 прошлых лет наблюдался рекордно низкий минимальный уровень льда в летнее время (рис. 2 и 3). Более того, последние данные свидетельствуют о том, что размеры ледяного покрова в зимнее время также начинают уменьшаться более быстрыми темпами, возможно, в результате потепления океана,

связанного с уменьшением толщины слоя и протяженности ледяного покрова. Эти наблюдения уменьшающегося количества льда арктических вод согласуются с прогнозами климатической модели ускоренного потепления в высоких широтах, что, в свою очередь, в значительной степени обусловлено обратной реакцией альбеда льда. В отличие от Арктики, четкой тенденции в размерах протяженности морского льда Антарктики не выявлено.

РИСУНОК 2

Протяженность морского льда Антарктики в сентябре 2008 года составляла 4,67 миллиона км² (1,80 миллиона квадратных миль) – предпоследний с точки зрения величины результат, зарегистрированный спутником. Сиреновой линией показана средняя протяженность льда для сентября за период с 1979 по 2000 годы

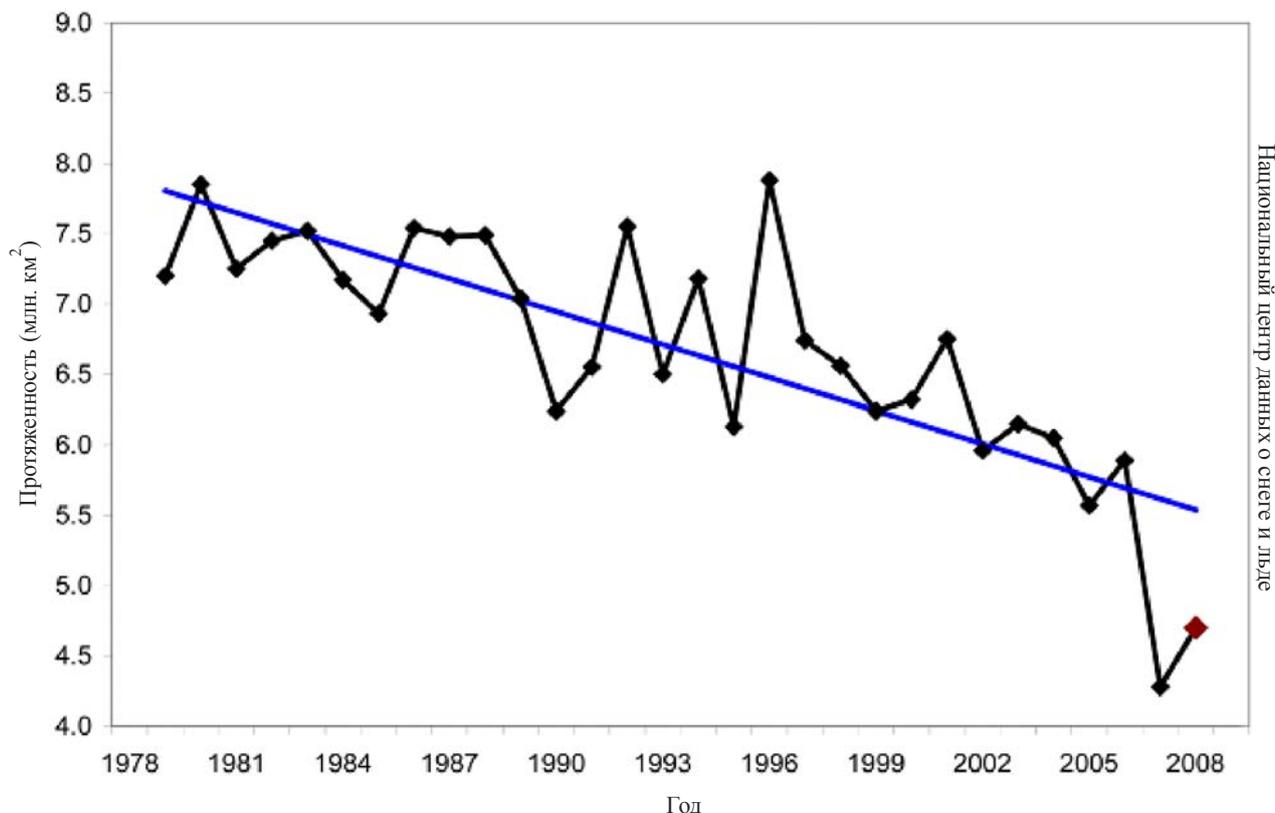


RS.1883-02

Источник: URL: http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html.

РИСУНОК 3

Протяженность льда в сентябре за период с 1979 по 2008 годы показывает ее уменьшение на протяжении тридцати лет. Темпы уменьшения протяженности морского льда в сентябре начиная с 1979 года теперь возросли до $-11,7\%$ за десятилетие



RS.1883-03

Источник: URL: http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html.

В последние несколько лет наблюдается рост количества сообщений с прогнозами о состоянии морского льда, и эти сообщения полностью или частично основываются на данных, полученных со спутников. Так, например, оценка влияния арктического климата (ACIA 2005) содержит вывод о том, что продолжающееся сокращение морского льда Арктики вскоре может привести к сезонно свободной ото льда Арктике и расширению морского судоходства, поскольку перевозки морскими путями через Северный Ледовитый океан намного дешевле по сравнению с путями, пролегающими через Панамский или Суэцкий каналы. Однако имеются также некоторые свидетельства того, что уменьшение ледяного покрова будет сопровождаться большей междугодичной изменчивостью, по крайней мере, в некоторых регионах.

Понимание изменений, происходящих в ледяных покровах, морском льде, ледниковых шапках и ледниках важно для лучшего понимания глобального изменения климата и прогнозирования его последствий. Так, по сообщению журнала **Science**, "уменьшение ледяного покрова" и вызванное им повышение уровня моря были определены в качестве третьего важнейшего "открытия 2006 года". Учитывая прогнозируемое изменение климата и связанное с этим процессом повышение уровня моря, обеспечение глобального покрытия полярной области в будущем поможет удовлетворить жизненно важные потребности общества, которые не были удовлетворены другими системами наблюдения.

3 Океаны

Океаны занимают около 71% земного шара и играют ключевую роль в климатической системе в нескольких аспектах. Они являются также прекрасным показателем изменения климата. Так, например, измерение уровней моря дает важный ключ к пониманию причин глобального потепления.

Изменения в погоде, климате и окружающей среде ставят серьезные проблемы перед человечеством. Для решения этих проблем требуются дополнительные усовершенствования в прогнозировании погоды, особенно в среднесрочном и долгосрочном прогнозировании. Если мы будем иметь более четкую картину того, что может произойти через ближайшие 10 дней, в ближайшие месяцы и даже время года, то люди и предприятия смогут намного лучше подготовиться к неустойчивым погодным условиям. Решение этих проблем предполагает также лучшее понимание глобальных климатических факторов, являющихся причинами возникновения таких явлений, как Эль-Ниньо и Ла-Нинья в Тихом океане, опасные ураганы и тайфуны и особенно подъемы уровня моря.

Ключ к пониманию сил, стоящих за изменением погодных условий, может быть найден только путем отображения на карте изменений состояния поверхности океана по всему миру и использования собранных данных для разработки и использования эффективных моделей поведения океана. Сочетая модели океана и атмосферы, мы можем предоставить необходимые точные как краткосрочные, так и долгосрочные прогнозы. Сочетание моделей океана и атмосферы необходимо для полного учета среднemasштабной (средней дальности) динамики океанов. Сочетание моделей океана и атмосферы становится важным для составления прогнозов погоды на период свыше двух недель. Океаны являются также важной частью процесса изменения климата, а подъем уровней моря во всем мире общепризнан в качестве потенциальной причины особенно разрушительных последствий глобального потепления.

3.1 Температура поверхностного слоя моря и подъем среднего уровня моря

Важный вклад в климатологию внесла регистрация на протяжении длительного периода температуры поверхностного слоя моря (SST), осуществляемая с помощью усовершенствованных радиометров с очень высокой разрешающей способностью (AVHRR), установленных на серии спутников для телевизионного наблюдения в инфракрасных лучах (TIROS-N) и серии спутников NOAA. Сегодня SST измеряется также с помощью пассивных микроволновых приборов. SST является одним из важнейших показателей изменения глобального климата и важнейшим параметром для моделирования климата. Поскольку океанографические данные дистанционного зондирования охватывают самый продолжительный период времени, они оказывают самое широкое влияние.

Информация о SST раскрывает влияние океана на изменчивость регионального и глобального климата и содержит важные подробные сведения об океанических течениях. Свыше 80% от общего объема тепла системы Земли хранится в океане, а океанические течения перераспределяют это тепло по всему земному шару. Анализ тенденций в регистрации SST помог лучше понять обратную связь между климатом и атмосферой в тропических зонах, ответственных также за Южное колебание – Эль-Ниньо (ENSO) в Тихом океане. Прогресс в понимании ENSO, ставший возможным благодаря спутниковым наблюдениям за морскими поверхностными ветрами, колебаниями уровня моря и температурами поверхностного слоя моря, оказал глубокое влияние на региональные прогнозы климата и погоды. Кроме того, интенсивность ураганов напрямую связана с температурами поверхностного слоя моря. Таким образом, информация как о температуре поверхностного слоя моря, так и о самих ураганах, получена из исследований, в которых использовались данные со спутников.

Кроме того, SST занимает центральное место в установлении взаимосвязи океана с атмосферой и является определяющим фактором в тепловом и влагообмене между этими двумя средами. Анализ тенденций в изменении SST предоставил доказательства глобального потепления и важной обратной связи между климатом и атмосферой в тропических зонах, ответственных за явления ENSO. Эти наблюдения SST, в сочетании с вертикальными измерениями на месте температуры океана на глубине до 3000 м, предоставили доказательства антропогенного глобального потепления в океане.

Понимание увеличения SST и антропогенного поступления тепла к поверхности океана также имеет важные последствия для количественного измерения и прогнозирования подъема уровня моря. Подъем среднего уровня моря может являться признаком глобального потепления. Мониторинг этого уровня является применением альтиметрии и одним из основных вопросов в науке об окружающей среде XXI века.

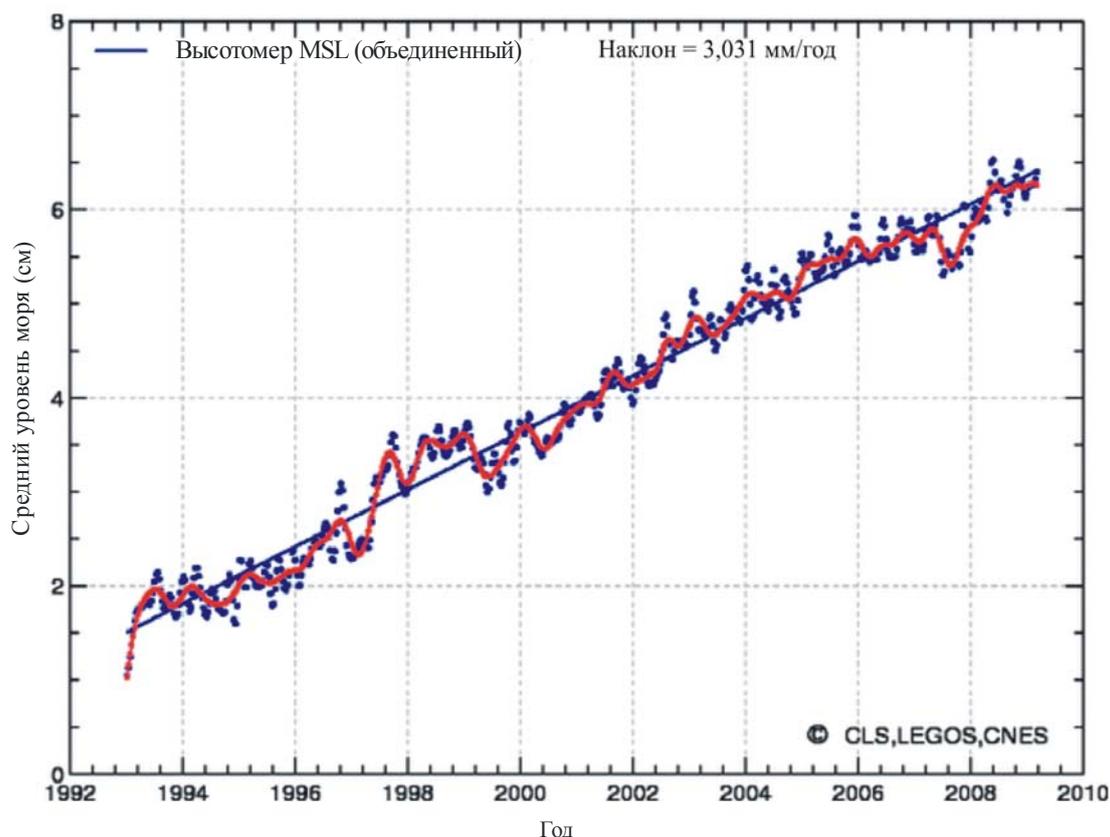
Порой трудно отделить естественную изменчивость климата от последствий глобального потепления. Измерения средних уровней моря получены в результате 15-летних наблюдений со спутников. Эти наблюдения самосогласуются и составляют точный временной ряд спутниковых наблюдений.

Однако такой период времени слишком непродолжителен. К тому же необходимо отметить, что помимо естественной изменчивости климата существуют также и антропогенные нарушения климата. Поэтому сигналы изменения климата могут быть обнаружены только в том случае, если они больше фоновой естественной изменчивости климата. Обнаружение глобального изменения климата важнее, чем мониторинг региональных последствий.

Наблюдающийся подъем уровня моря частично объясняется увеличением температуры воды. В остальном он может являться результатом таяния льдов и колебаний в уровне континентальных вод. На рисунке 4 показано, что этот подъем составляет около 3,3 мм/год или приблизительно 5 см за 15 лет.

РИСУНОК 4

Подъем среднего уровня моря



RS.1883-04

Однако средний подъем уровня моря это только часть проблемы. Подъем уровня океанов происходит далеко не равномерно. В одних районах мирового океана уровень моря повышается (в некоторых местах до 20 мм в год), тогда как в других районах он на эквивалентную величину падает. Такие региональные отличия, наблюдаемые со спутников TOPEX/JASON с 1993 года, отражают главным образом колебания уровня моря на протяжении нескольких лет.

Основная проблема состоит в том, что подъем уровня моря может привести к затоплению прибрежных районов во всем мире и полному поглощению низменных островов. Хотя такие серьезные последствия могут наступить спустя относительно продолжительный период времени (десятилетия – столетия), топографическая съемка, полученная с помощью спутниковых наблюдений (с использованием радара SAR, например радарной топографической съемки и оптически – через ASTER), может помочь выявить наиболее уязвимые районы.

Измерения температуры поверхностного слоя моря позволяют не только получить важную информацию о циркуляции океана (например, о Гольфстриме), но и продвинуться вперед в исследованиях в области климата путем предоставления подробной информации о поступлении тепла в океан. Цвет океана в сочетании с данными наблюдений за SST приводят к новым открытиям в области физико-биологических взаимосвязей в океане с важными последствиями для роли океана в углеродном цикле.

Наблюдения, осуществляемые с помощью спутников, являются единственным способом оценки и мониторинга роли океанической биомассы, как поглотителя углерода. В частности, ответ на основной вопрос о том, изменяется ли биологическое поглощение углерода под влиянием изменения климата, может быть получен только с помощью измерений со спутника. Это требует не только измерений цвета океана (биомассы и продуктивности фитопланктона), но и соответствующих космических наблюдений за физической океанической средой (циркуляция и смешивание), взаимодействием материка и океана (через устья рек и приливо-отливную зону побережья), а также за другими факторами, такими как ветры, приливы и отливы и поступление солнечной энергии к верхнему слою океана. Наблюдение взаимосвязей между физической и химической средой и биологией океана является одним из важнейших достижений наблюдений из космоса.

3.2 Влажность почвы и соленость океанических и морских вод

Испарения, просачивание грунтовых вод и пополнение запасов подземных вод обычно происходят через ненасыщенную зону верхних грунтовых вод, простирающуюся от высшей точки поверхности земли до уровня грунтовых вод. Корнеобитаемый слой почвы, в котором растительность получает необходимую ей воду, расположен в зоне аэрации на границе между средой произрастания растительности и началом гидрологической системы. Количество воды, имеющейся в растительности, определяет процесс испарения влаги растениями и их фотосинтез и тем самым связывание CO_2 . Количество воды в зоне аэрации напрямую связано со способностью почвы производить дренаж после выпадения осадков. Модели водообмена между почвой, растительностью и атмосферой (SVAT), используемые в метеорологии и гидрологии, предназначены для описания основных процессов испарения на поверхности и установления границы между испарением влаги растениями, дренажом, поверхностными водами и влажностью почвы. Для моделей SVAT должно быть предоставлено реалистичное исходное значение количества воды в зоне верхних грунтовых вод.

В случае оголенной почвы или редко встречающейся растительности коэффициент испарения и сток вод может быть рассчитан на основе временного ряда верхнего слоя почвы. В случае поверхностей, покрытых растительностью, должно учитываться количество воды в этой растительности (оптическая плотность растительности). Сама оптическая плотность растительности может оказаться очень полезным показателем при мониторинге динамики растительности.

Наличие информации о распределении соли (солености) в мировом океане и ее годичной и междугодичной изменчивости имеет важнейшее значение для понимания роли океана в климатической системе. Информация о солености необходима для определения плотности океана, а следовательно, и термогалинной циркуляции его вод. Соленость океана связана также с океаническим углеродным циклом, поскольку играет роль в установлении химического равновесия, что, в свою очередь, регулирует процесс поглощения и выделения CO_2 . Поэтому включение результатов измерений солености поверхностного слоя океанов в биогеохимические модели мирового океана должно повысить качество оценок поглощения CO_2 океанами.

Задача спутника SMOS состоит в осуществлении мониторинга влажности почвы совместно со спутником SMAP, а также солености воды в океане совместно со спутником Aquarius.

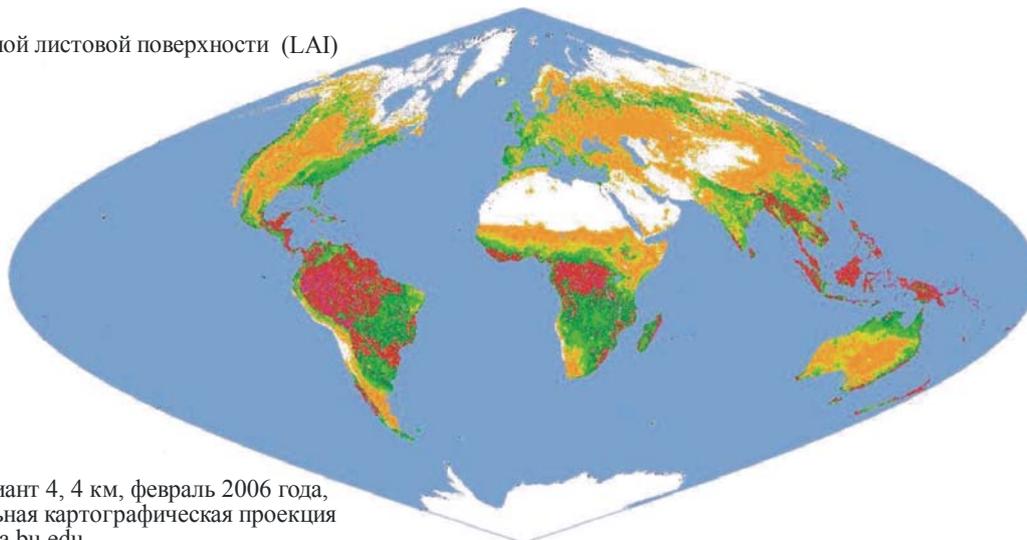
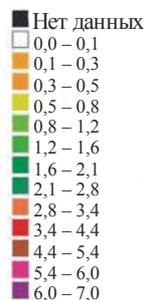
4 Биосфера

Спутниковый мониторинг динамики растительности Земли важен для понимания функционирования глобальной экосистемы и реагирования на колебания и изменчивость климата. С помощью прибора MODIS, установленного на спутниках TERRA и AQUA, такое наблюдение (рис. 5) стало более точным за счет охвата биофизических измерений.

РИСУНОК 5

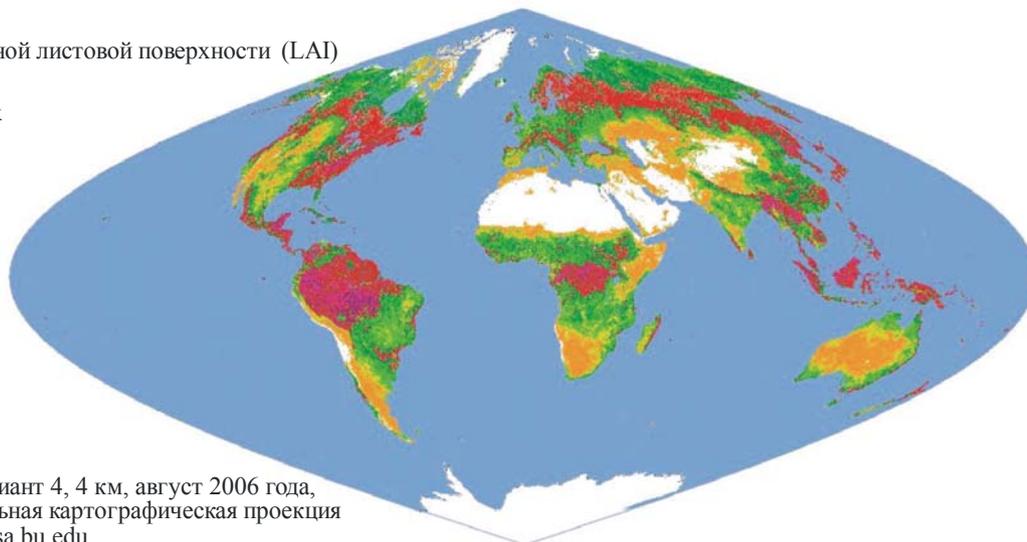
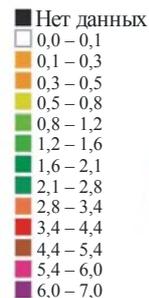
Индексы зеленой листовой поверхности, полученные с помощью MODIS и свидетельствующие о сезонных изменениях в растительности

Индекс зеленой листовой поверхности (LAI)



MODIS, вариант 4, 4 км, февраль 2006 года,
Синусоидальная картографическая проекция
tmyneni@crsa.bu.edu

Индекс зеленой листовой поверхности (LAI)



MODIS, вариант 4, 4 км, август 2006 года,
Синусоидальная картографическая проекция
tmyneni@crsa.bu.edu

RS.1883-05

Источник: *Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*, p. 75, 2008, можно загрузить по адресу URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

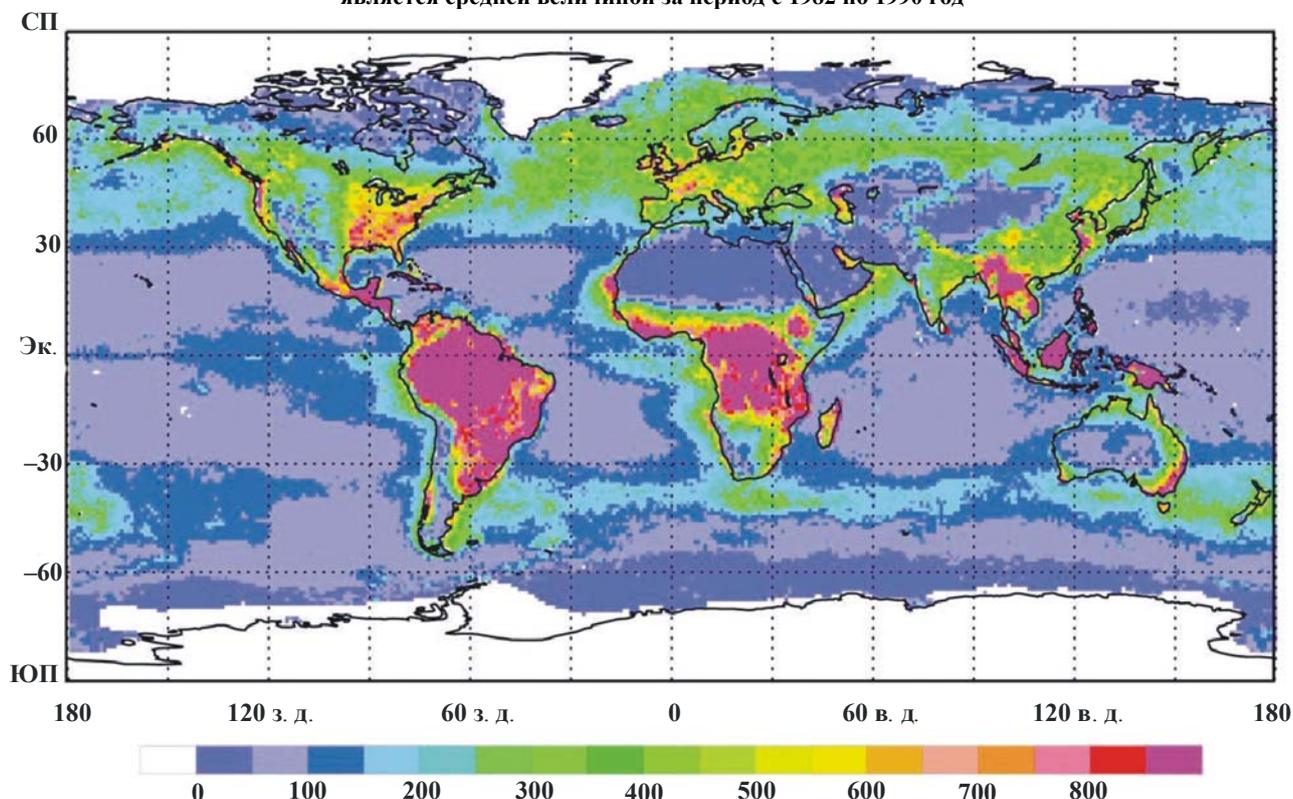
Исследования углеродного цикла и флуктуации энергии Земли, проводившиеся на базе спутников, помогли также в проведении исследований в области изменения климата.

Чистая первичная продуктивность (NPP) определяется как чистый приток углерода из атмосферы в зеленые растения за единицу времени. Спутниковые наблюдения NPP вносят бесценный вклад в понимание основ влияния изменения климата на биосферу. На NPP влияет управление климатом и естественное регулирование численности видов растений и животных, которые взаимодействуют друг с другом. Вклад суши и океана в NPP практически одинаковый (рис. 6), однако на местном уровне наблюдается поразительная неустойчивость в NPP. Поскольку жизненные циклы фитопланктона на порядки меньше (дни против годов или десятилетий), по сравнению с жизненными циклами земных растений, то фитопланктон может гораздо быстрее реагировать на влияние изменения климата на океаническую циркуляцию, смешивание, запас питательных веществ и свет, чем растения в земных экосистемах. Поэтому океанический компонент (примерно половина) углеродного цикла, как ожидается, будет быстрее реагировать на изменения климата.

РИСУНОК 6

Глобальная ежегодная NPP (в граммах углерода/м²/год) для биосферы, рассчитанная на основе объединенной модели CASA-VGPM (вертикально обобщенная модель продуктивности). Входные данные для цветности океана, полученные с помощью датчика CZCS, являются средними величинами за период с 1978 по 1983 год

Индекс земной растительности, полученный с помощью датчиков AVHRR, является средней величиной за период с 1982 по 1990 год



RS.1883-06

Источник: *Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*, p. 77, 2008, можно загрузить по адресу URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

Запущенный в 1978 году прибор для сканирования прибрежной зоны показал, что за продуктивностью океана можно наблюдать, используя видимый и ближний инфракрасный диапазоны; однако измерения CZCS были насыщены сушей и поэтому не подлежали использованию.

Радиометры AVHRR, установленные на метеорологических спутниках на полярной орбите Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (NOAA), получают начиная с 1978 года непрерывный поток данных ежедневных глобальных наблюдений, используя как красный, так и ближний инфракрасный диапазоны. В настоящее время набор данных AVHRR, поступающих ежедневно, охватывает более чем 25-летний период и является наиболее полным с точки зрения охватываемого периода непрерывным массивом данных о земной продуктивности, фенологии (изучение периодических событий в жизненном цикле растительного и животного мира, а также того, какое влияние на них оказывают сезонные и межгодовые колебания климата) и изменении экосистемы для мониторинга биосферных реагирований на изменения и колебания климата.

Хотя AVHRR не предназначен для мониторинга климата, продолжающиеся усовершенствования в калибровке и повторный анализ позволяют получать устойчивые данные, необходимые для мониторинга и оценки прошлых и будущих биосферных реагирований, обусловленных изменением и колебанием климата, а также деятельностью человека.

Одной из важных проблемных областей является влияние изменения климата на сельское хозяйство. По мере потепления климата увеличивается продолжительность посевного периода, северные районы становятся более продуктивными, а южные районы, оказавшиеся в чрезвычайно жарких погодных условиях, – менее продуктивными. Мониторинг продуктивности сельского хозяйства ведется из

космоса на протяжении десятилетий. Индекс относительной разности растительности (NDVI) имеет свойство колебаться в пределах от -1 до $+1$, имея значения около $+1$, когда наблюдается растительность. Технически индекс NDVI определяется как величина ближнего инфракрасного диапазона за вычетом величины красного (видимого) диапазона, поделенная на сумму этих величин.

В прошлом десятилетии данные NDVI, полученные с AVHRR, стали важнейшим компонентом при мониторинге изменения климата, оценке изменения продолжительности и времени посевного периода, мониторинге состояния биосферы и других явлений экосистемы. Многолетний период наблюдений NDVI выявил возрастание реагирования на потепление климата в 1980-е и начале 1990-х годов, однако в последнее время эта тенденция стабилизировалась. Изменения в планетарном NDVI (зеленость) устойчиво коррелируются с ежедневной динамикой земной улавливаемой фотосинтетически активной радиации и концентрацией CO_2 в окружающей атмосфере. Наблюдается устойчивая отрицательная корреляция между NDVI и содержанием CO_2 в атмосфере. Таким образом, NDVI является высоким, когда концентрация CO_2 не высока, и наоборот. Такой временный пример фотосинтеза и биологического круговорота экосистемы показывает динамику, связывающую биосферу и атмосферу.

5 Вывод

Датчики, находящиеся на борту спутников, предоставляют данные, необходимые для нашего понимания планеты и последствий изменения климата. Поскольку такие приборы продолжают предоставлять важные данные, то в будущем им должна быть обеспечена защита.

Приложение 2

Состояние наблюдений за основными климатическими переменными и вынуждающими факторами

Представленное ниже краткое описание состояния наблюдений с помощью датчиков, находящихся на борту спутников (а в некоторых случаях, вспомогательных бортовых датчиков), за важнейшими климатическими переменными подготовлено на основе доклада Национального научно-исследовательского совета "Наука о Земле и практические применения из космоса" (Earth Science and Applications from Space, National Academies Press, Washington, DC, 2007 (Таблица 9.A.1, стр. 298–303).

Документ доступен по адресу: <http://www.nap.edu/catalog/11820.html>.

В докладе отмечалось, что:

"хотя в таблице содержится ценная информация, следует признать ее ограниченный характер:

- 1 в некоторых случаях в ней содержится перечень переменных, которые могут быть получены на основе использования некоторых методов, однако перечислены не все методы;
- 2 она ограничивается наблюдениями со спутников, находящихся на низкой околоземной орбите, хотя некоторые из перечисленных целей могут быть достигнуты путем получения многоспектральных данных изображения и зондирования с платформ, находящихся на геостационарной орбите и других орбитах;
- 3 некоторые данные наблюдений со спутников могут быть приняты как самостоятельные физические измерения, и их толкование часто пересматривается по мере проведения дополнительных сравнений между выводами, сделанными на основе наблюдений со спутников, и альтернативными измерениями физических переменных."

Числа в скобках указывают на важнейшие климатические переменные, перечисленные в Дополнении 1 ГСНК (Глобальная система наблюдения за климатом) 2003 года. Этот документ является вторым докладом по вопросу о достаточности глобальных систем наблюдения за климатом в поддержку UNFCCC GCOS-82, WMO Tech. Doc. 1143.

Полеты 1, 2, 3 и 4 указывает на желательные полеты, а не на те, которые уже запланированы. Пятая колонка в первоначальной таблице была опущена, поскольку в ней содержится информация о внутренних источниках данных.

**Краткое описание состояния наблюдений за основными климатическими переменными
и вынуждающими факторами Группы специалистов по вопросам изменения
и колебания климата**

Измерение	Стратегия	Текущее состояние	Последующие меры (2010–2020 гг.)
Полная освещенность солнечного излучения (1.2)	Прямое измерение	SORCE, запущен в 2003 г.; Glory (только TIM) 2008 г.	NPOESS TSIS-GFE
Радиационный баланс Земли	Многоспектральный формирователь изображения в сочетании с широкополосными радиометрами: идентификация объекта наблюдения, потоки в верхних слоях атмосферы	MODIS/CERES на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.)	VIIRS/CERES на NPOESS, C1 (2013 г.), полет 2
Радиационный баланс поверхности	Многоспектральный формирователь изображения в сочетании с широкополосными радиометрами: идентификация объекта наблюдения, потоки в верхних слоях атмосферы, моделирование переноса энергии излучением	MODIS/CERES на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.)	VIIRS/CERES на NPOESS, C1 (2013 г.), полет 2
	Радиометры наземного базирования: площадки сетей ARM, BSRN, CMDL, SURFRAD, не плотно размещенные		
Тропосферные аэрозоли (1.3): географическое и вертикальное распределение аэрозолей, оптическая глубина, размер, форма, альbedo однократного рассеяния	Многоспектральные формирователи изображения: обеспечивают оптическую глубину, определенный вывод относительно размера над океанами и темными поверхностями	AVHRR с 1981 г. (NOAA 7), в настоящее время на NOAA 17, 18, 19; VIRS на TRMM (1997 г.); MODIS, MISR на Terra (2000 г.); MODIS на Aqua (2002 г.)	VIIRS на NPP, NPOESS
	UV радиометр-формирователь изображения: обеспечивают оптическую глубину, определенный вывод относительно поглощения для верхних аэрозольных слоев	OMI на AURA (2004 г.) OMPS на NPP (2010 г.)	OMPS на NPOESS, C3, полет 1
	Поляриметры: обеспечивают оптическую глубину, размер, форму, альbedo однократного рассеяния	POLDER на PARASOL (2005 г.) APS на Glory (2008 г.), ограничен трассой орбиты субспутника	APS на NPOESS, C3, полет 1
	Лидар: обеспечивает вертикальный профиль концентрации аэрозолей, определенный вывод относительно размера и формы	CALIPSO (2006 г.)	Полет 1
	Многоспектральный радиометр загрязненности поверхности	AERONET, ARM	VIIRS на NPOESS, полет 1
	Широкополосные измерения потоков на Земле и поверхности	CERES на Terra (2000 г.), Aqua (2004 г.) в сочетании с площадками сетей BSRN, ARM, SURFRAD	CERES на NPOESS, полет 2
Качество и состав стратосферных аэрозолей, оптическая глубина, размер, форма, альbedo однократного рассеяния (1.3)	Измерения лимба солнца и солнечного затмения: профиль аэрозольного ослабления	HIRDLS на Aura, инфракрасный радиометр; SAGE II на ERBS (1984–2006 гг.); SAGE III на Meteor (2002–2006 гг.) SciSat (Канада-США)	Не предусмотрены
	Солнечный свет, рассеянный по кругу: профиль оптической глубины слоя аэрозолей		OMPS на NPP (2010 г.), NPOESS
	Лидар: вертикальный профиль концентрации аэрозолей, определенный вывод относительно размера и формы	CALIPSO (2006 г.)	Полет 1

Измерение	Стратегия	Текущее состояние	Последующие меры (2010–2020 гг.)
Свойства облаков (1.2): географическое и вертикальное распределение, фактический радиус капель воды, среда обитания и размер кристаллов ледяных облаков, соотношение воды/льда облаков смешанного типа и размер гидрометеоров, а также видимая оптическая глубина, количество жидкости облаков и воды льда	Многоспектральные формирователи изображения: свойства одного фактического облачного слоя	AVHRR с 1981 г. (NOAA 7), в настоящее время на NOAA 17, 18, 19; выводы относительно размера гидрометеоров, но не фазовый VIRS на TRMM; MODIS на Aqua и Terra обеспечивает вывод относительно фазы гидрометеоров	VIIRS на NPP, NPOESS обеспечивает вывод относительно фазы гидрометеоров
	Многообзорные радиометры, поляриметры	MISR на Terra, высота облаков с POLDER со стереоскопическим изображением на PARASOL, размер и фаза гидрометеоров с поляриметрического APS на Glory (2008 г.), фаза из поляриметрии	APS на NPOESS, C3 фаза гидрометеоров из поляриметрии
	15 мкм зонды, формирователи изображения: давление облачного слоя для фактической однослойной облачной системы и даже для оптически тонких перистых облаков	HIRS на NOAA 17, 18, 19 MODIS на Terra, Aqua AIRS на Aqua (2002 г.)	CrIS на NPOESS
	Микроволновые формирователи изображений: вывод относительно воды облаков над океанами	SSM/I на DMSP TMI на TRMM, AMSR-E на Aqua, CMIS на NPOESS	
	Лидар: верхняя граница, ослабление для оптически тонких облаков с поляризацией, фаза частиц	CALIPSO (2006 г.)	Полет 1
	Радар обнаружения облаков: границы облачности, вертикальное распределение жидкой воды, интенсивность мелкого дождя при выпадении небольших осадков	CloudSat (2006 г.)	Полет 1
Озон: стратосфера, тропосфера (1.3)	UV радиометр-формирователь изображения: обеспечивает колонку данных о тропосферном озоне, крупные профили стратосферного озона с разрешением по вертикали	OMI на Aura (2004 г.)	Надир OMPS на NPP (2010 г.), NPOESS, C3
Газовые примеси, контролируемые озон (HCl, N ₂ O, CH ₄ , H ₂ O, HNO ₃)	Инфракрасные зонды: обеспечивают вертикальные профили тропосферного и стратосферного озона	HIRDLS на Aura; TES на Aura обеспечивает также круговой обзор (не используется с 2005 г.); AIRS на Aqua (2002 г.)	Не предусмотрены
	Микроволновое круговое зондирование: обеспечивают вертикальный профиль стратосферного озона	MLS на Aura	Не предусмотрены
CO ₂ (1.3)	Спектрометр, работающий в ближнем инфракрасном диапазоне: колонка высокоточных данных о концентрации CO ₂	OCO (2008 г.); цель состоит в том, чтобы добиться точности, достаточной для определения источников и поглотителей углерода; сети наземного базирования (WMO GAW, NOAA, AGAGE)	Не предусмотрены
	Инфракрасные зонды:	AIRS на Aqua (2002 г.)	Не предусмотрены

Измерение	Стратегия	Текущее состояние	Последующие меры (2010–2020 гг.)
CH ₄ (1.3)	Инфракрасный спектрометр: колонка высокоточных данных о концентрации CH ₄	TES на Aura; сети наземного базирования (WMO GAW, NOAA, AGAGE)	Не предусмотрены
	Инфракрасные зонды:	AIRS на Aqua (2002 г.)	Не предусмотрены
Покрытие земной поверхности и альbedo поверхности (3) (снежный покров, ледники, ледниковые шапки, покрывающие последние)	Многоспектральный формирователь изображения: вегетативный индекс, вывод относительно альbedo поверхности	AVHRR на NOAA 17, 18, 19: выводы относительно амосферно корректируемых спектральных альbedo; MODIS на Terra (2000 г.), Aqua (2002); серия Landsat	VIIRS на NPP (2010 г.), NPOESS
	Гиперспектральный формирователь изображения: типы растительности, почвенно-растительный покров	Hyperion (EO-1)	Полет 1
Температура (1.2): вертикальные профили	Инфракрасные микроволновые зонды: вертикальные профили температур слоев	HIRS/MSU с 1979 года, в настоящее время на NOAA 17, 18, 19; SSM/I на DMSP (1995 г., 1997 г., 1999 г.); AIRS/AMSU на Aqua (2002 г.)	CrIS, ATMS на NPP (2010 г.), NPOESS
	Радиозатмение GPS: вертикальные профили с разрешением около 0,5–1 км близ поверхности	GPS на CHAMP (2000 г.), COSMIC (2006 г.)	Полет 2
	Наземная сеть: температурные профили радиозондов, сеть зондов ВМО (1959 г.)		
Водяной пар (1.2): колонка данных о количестве, вертикальных профилях	Микроволновое формирование изображений: колонка данных о количестве водяного пара над океанами	SSM/I на спутниках на полярной орбите DMSP (1995 г., 1997 г., 1999 г.)	ATMS на NPP (2010 г.), MIS на NPOESS
	Многоспектральный формирователь изображения: колонка данных о количестве водяного пара из каналов ближнего инфракрасного диапазона	MODIS на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.)	Не предусмотрены
	Инфракрасные зонды: количество слоев водяного пара при относительно низкой разрешающей способности по вертикали в тропосфере	Данные HIRS с 1979 года (TIROS-N), в настоящее время на NOAA 17, 18, 19	CrIS на NPP (2010 г.), NPOESS
	Инфракрасные радиометры с высокой разрешающей способностью: количество слоев водяного пара при более высокой разрешающей способности по вертикали в тропосфере	AIRS на Aqua (2002 г.); TES на Aura (2004 г.)	CrIS на NPP (2010 г.), NPOESS
	Инфракрасные микроволновые радиометры кругового сканирования: количество слоев водяного пара в верхних частях тропосферы, стратосферы	TES, MLS на Aura (2004 г.)	Не предусмотрены
	Радиозатмение GPS: профили температуры, водяного пара с разрешением по вертикали около 0,5 км близ поверхности	CHAMP (2000 г.), COSMIC (2007 г.)	Полет 2
	Наземная сеть: профили водяного пара радиозондов, сеть зондов ВМО (1959 г.)		

Измерение	Стратегия	Текущее состояние	Последующие меры (2010–2020 гг.)
Возгорания (3)	Формирователь изображения в ближнем инфракрасном диапазоне: обнаружение очагов возгорания с высокой разрешающей способностью по спектру	Данные AVHRR с 1981 года (NOAA 7), в настоящее время на NOAA 17, 18, 19; MODIS на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.)	VIIRS на NPP (2010 г.), NPOESS
Биомасса земли, доля фотосинтетически активной радиации	Многоспектральный формирователь изображения: вегетативный индекс, вывод относительно FAPAR	Данные AVHRR с 1979 года (NOAA 6), в настоящее время на NOAA 17, 18, 19; MODIS на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.); SeaWiFS	VIIRS на NPP (2010 г.), NPOESS, полет 1
(FAPAR) (3)	Радар: земля укрывает от обратного рассеяния радиолокационных сигналов в С-диапазоне	RADARSAT 1 (1995 г.), RADARSAT 2 (2007 г.), данные имеются	Не предусмотрены
Ледники, морской лед, ледниковые шапки (3)	Многоспектральный формирователь изображения: зональное покрытие	Данные AVHRR с 1979 года (TIROS-N), в настоящее время на NOAA 17, 18, 19; MODIS на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.)	VIIRS на NPP (2010 г.), NPOESS
	Микроволновые формирователи изображений: зональное покрытие	SSM/I на DMSP (1995 г., 1997 г., 1999 г.); AMSR-E на Aqua; TMI на TRMM (1997 г.) MIS на NPOESS	
	Радары: область ледников и движение льда, толщина морского льда из топографии	RADARSAT 1 (1995 г.), RADARSAT 2 (2007 г.), данные имеются	Полет 3
	Лидар: Поднятие льдов	GLAS на ICESat (2003 г.)	Полет 1
	Спутник для исследования гравитационного поля Земли: масса льда, когда это сочетается с топографическим измерением	GRACE (2002 г.)	Последующая деятельность GRACE
Вечная мерзлота, сезонномерзлый грунт (3) снежный покров (и эквивалент талой воды) (3)	Радары в сочетании с микроволновыми формирователями изображений: сочетание района, неровности рельефа, топографии для обеспечения эквивалента талой воды	RADARSAT 1 (1995 г.), RADARSAT 2 (2007 г.), данные имеются	Последующая деятельность не планируется
Грунтовые воды (3)	Микроволновые формирователи изображений: влажность почвы, за исключением районов, покрытых ледяным снегом и густо поросших лесами	SSM/I на DMSP (1995 г., 1997 г., 1999 г.); AMSR-E на Aqua (2002 г.); MIS на NPOESS	
	Спутник для исследования гравитационного поля Земли: масштабные грунтовые воды (требуют дополнительных наблюдений на месте)	GRACE (2003 г.)	Последующая деятельность GRACE
Уровни воды в озерах (3)	Многоспектральный формирователь изображения с высокой разрешающей способностью: районы озер	Landsat 7 (1999 г.)	LDCM
	Радары: район озер	RADARSAT 1 (1995 г.), RADARSAT 2 (2007 г.), данные имеются	Последующая деятельность не планируется
	Лидар: подпорный уровень воды	GLAS на ICESat (2003 г.)	Полет 1

Измерение	Стратегия	Текущее состояние	Последующие меры (2010–2020 гг.)
Расход воды в реке (3)	Формирователь изображения с высокой разрешающей способностью: районы озер, рек	Landsat 7 (1999 г.)	LDCM
	Высотомер Лидар: уровни воды в реках	ICESat (2002 г.)	Полет 1
	Радар: районы озер, рек	RADARSAT 1 (1995 г.), RADARSAT 2 (2007 г.), данные имеются	Последующая деятельность не планируется
Индекс листовой поверхности (LAI) (3)	Многоспектральные формирователи изображения: вегетативный индекс	AVHRR, данные с 1981 года (NOAA 6), в настоящее время на NOAA 16, 17, 18; MODIS на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.); MISR на Terra (2000 г.); SeaWiFS (1997 г.); VIIRS на NPP (2010 г.)	VIIRS на NPOESS
	Многоспектральные формирователи изображения с высокой пространственной разрешающей способностью: вегетативный индекс с высоким пространственным разрешением	Landsat 7 (1999 г.); ASTER на Terra (2000 г.); EO-1	LDCM; полет 1
Уровень моря	Высотомер: высота уровня воды в океане	Jason 1 (2001 г.) GFO	ALT на NPOESS, полет 4; последующая деятельность GRACE
	SAR: район прибрежных зон	RADARSAT 1 (1995 г.), RADARSAT 2 (2007 г.), данные имеются	Не предусмотрены
Состояние моря (2.1), ветер у поверхности (1.1)	Микроволновые формирователи изображений: скорость ветра у поверхности	SSM/I на DMSP (1995 г., 1997 г., 1999 г.); AMSR-E на Aqua (2002 г.) MIS на NPOESS	
	Скаттерометр: вектор ветра у поверхности	QuikSCAT (1999 г.); ASCAT на MetOp	ASCAT на MetOp, полет 4
Цвет океана (2.1)	Многоспектральные формирователи изображения с ультрафиолетово-голубыми возможностями: покидающая поверхность лучистость	SeaWiFS (1997 г.); MODIS на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.)	VIIRS на NPP (2010 г.) и NPOESS
Температура поверхности (2.1), подповерхности (2.2) океана	Многоспектральный формирователь изображения: температура поверхностного слоя моря	AVHRR, данные с 1981 года (NOAA 7), в настоящее время на NOAA 16, 17, 18; VIRS на TRMM (1997 г.); MODIS на Terra (2000 г.), Aqua (2002 г.)	VIIRS на NPP (2010 г.) и NPOESS
	Инфракрасные микроволновые зонды: температура поверхностного слоя моря	AVHRR на NOAA 16, 17, 18 AIRS; AMSR-E на Aqua (2002 г.); MODIS на Aqua (2002 г.), Terra (1999 г.)	CrIS/ATMS на NPP (2010 г.); MIS на NPOESS
	Одноразовые профилирующие буи: профили температуры, температура на глубине нулевой плавучести, на поверхности	Буи ARGO	

Измерение	Стратегия	Текущее состояние	Последующие меры (2010–2020 гг.)
Соленость на поверхности (2.1), под поверхностью (2.2) океана	Микроволновый радиометр и скаттерометр: соленость, неровность поверхности океана		AQUARIUS (2010 г.)
	Одноразовые профилирующие буи: профили солености, соленость на глубине нулевой плавучести	Буи ARGO	
Течения на поверхности (2.1), под поверхностью (2.2) океана	Высотомер: высота поверхности океана, с которой начинаются течения	Jason 1 (2001 г.)	ALT на NPOESS, полет 4
	Спутник для исследования гравитационного поля Земли: сдвиги подповерхностной или баротропной массы (рассчитанные в связи с измерениями высотомера поверхности)	GRACE (2002 г.)	Последующая деятельность GRACE
	Одноразовые профилирующие буи: позиционный дрейф на глубине нулевой плавучести (и поверхности с некоторыми оговорками)	Буи ARGO	
Фитопланктон подповерхностного слоя (2.2)			
Осадки (1.1)	Микроволновые формирователи изображений: интенсивность дождевых осадков над океанами	SSM/I на DMSP (1995 г., 1997 г., 1999 г.); TMI на TRMM (1997 г.); AMSR-E на Aqua (2002 г.) MIS на NPOESS, GPM (2012 г.)	
	Радар осадков: вертикальная структура интенсивности дождей	TRMM (1997 г.)	GPM (2012 г.)
	Радар обнаружения облаков: скорость рассеивания света	CloudSat (2006 г.)	Полет 1