

МГУ им. М.В. Ломоносова
Геологический факультет

Спутниковые методы изучения Земли на примере системы GRACE

Строчков Михаил 109 группа

Научный руководитель: к. г.-м. н. Лыгин Иван Владимирович

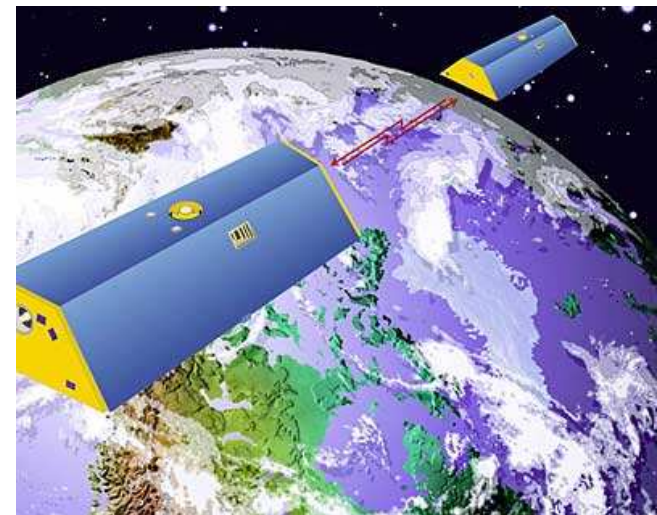
Москва 2010

GRACE - *Gravity Recovery And Climate Experimen*

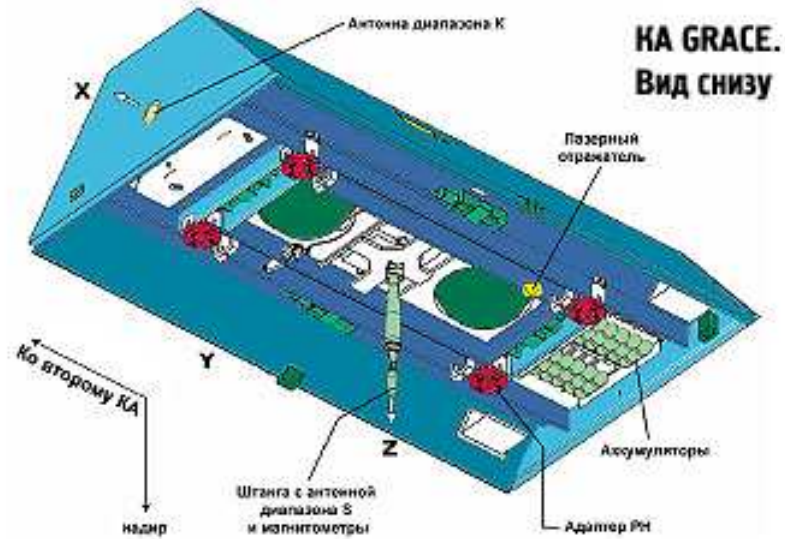
Два идентичный спутника запущены с космодрома Плесецк 17 марта 2002.

Главной целью проекта GRACE является составление точной карты изменений гвитационного поля Земли на протяжении пятилетнего периода.

Деятельность миссии GRACE основана на работе двух одинаковых спутников, находящихся на расстоянии 220 километров друг от друга, на полярной орбите высотой 500 километров над Землей.



Аппаратура GRACE (1)



Платформа КА GRACE с оборудованием



Основным инструментом КА является блок дальномера К-диапазона KBR (K-Band Ranging).

В его состав входят:

USO – ультрастабильный осциллятор JHU/APL. Является основным источником несущей частоты и эталоном времени для спутников GRACE.

Рупорная антенна КВР – является приемником и передатчиком сигналов несущей частоты К-диапазона (24 ГГц) и Ка-диапазона (32 ГГц) при межспутниковом обмене.

Сопоставитель (Sampler) – реконвертирует и сравнивает входящие фазы несущих частот К- и Ка-диапазонов.

IPU – блок обработки научной информации.
Осуществляет цифровую обработку сигналов К- и Ка-диапазонов и сигналов GPS, а также функции таймера для систем аппарата и обрабатывает информацию для кватернионов звездной камеры.

Аппаратура GRACE (2)

Другие научные инструменты:

Антенна GPS – основной приемник навигационных сигналов, направлена в зенит.

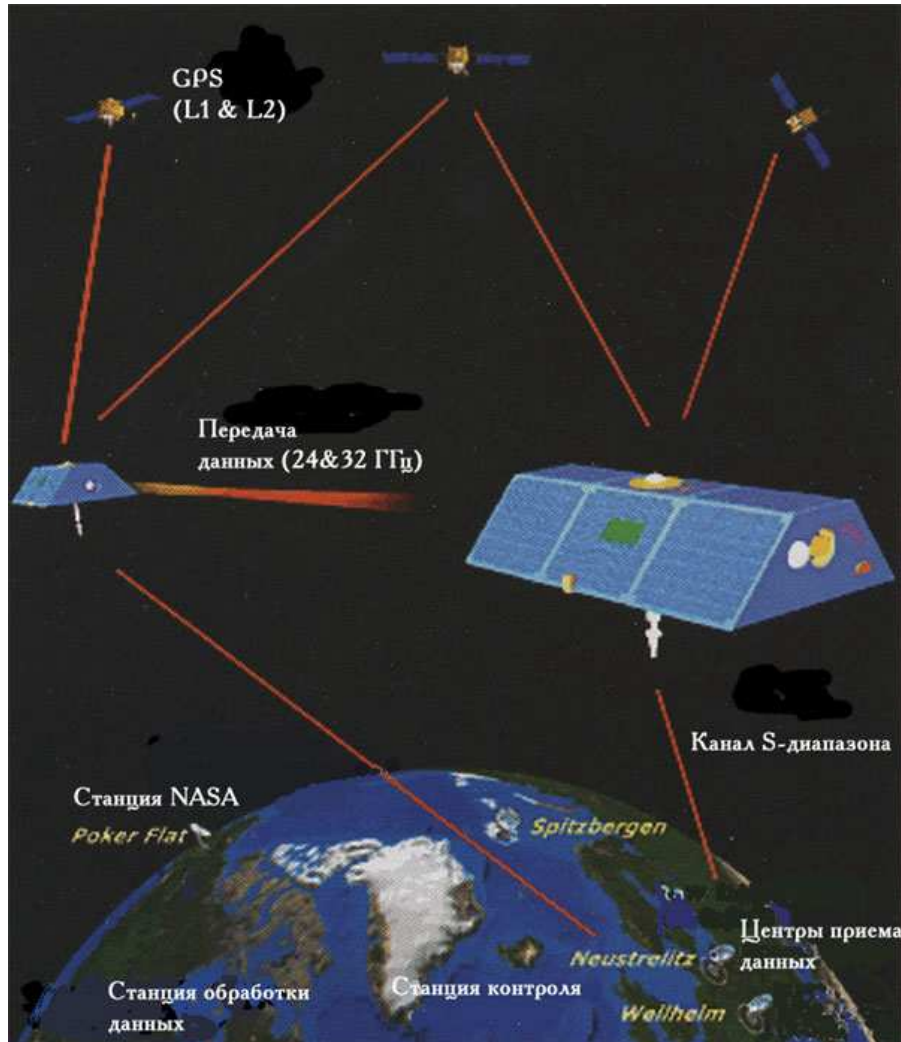
Запасная антенна GPS – расположена на тыльной стороне аппарата, направлена в надир.

Спиральная антенна GPS – используется для эксперимента по радиопросвечиванию атмосферы; расположена на тыльной стороне аппарата.

Две звездные камеры (+Y, -Y) – используются для определения точной ориентации КА.

Акселерометр ACC – измеряет негравитационные силы, действующие на аппарат. Акселерометр SuperSTAR включает блок датчиков, который измеряет ускорения, и блок интерфейса, где фильтруются и обрабатываются цифровые сигналы акселерометра.

Лазерные уголковые отражатели – обеспечивают резервные и дополнительные измерения движения КА с Земли



Принцип работы GRACE

Два спутника GRACE находятся на расстоянии примерно 220 км друг от друга, причем при пролете над гравитационными аномалиями это расстояние изменяется, поскольку спутники сильнее или слабее притягиваются Землей. Например, если летящий впереди спутник находится над районом с более высокой гравитацией, то его "притянет" к Земле немного сильнее, чем другой аппарат. И вот это расстояние, которое отражает изменение в силе притяжения над данным участком земной поверхности, может быть измерено. На спутниках установлены микроволновые дальномеры с точностью измерений вплоть до одного микрометра. Именно высокая точность измерения расстояния между спутниками позволяет улавливать малейшие изменения в силе притяжения к Земле.

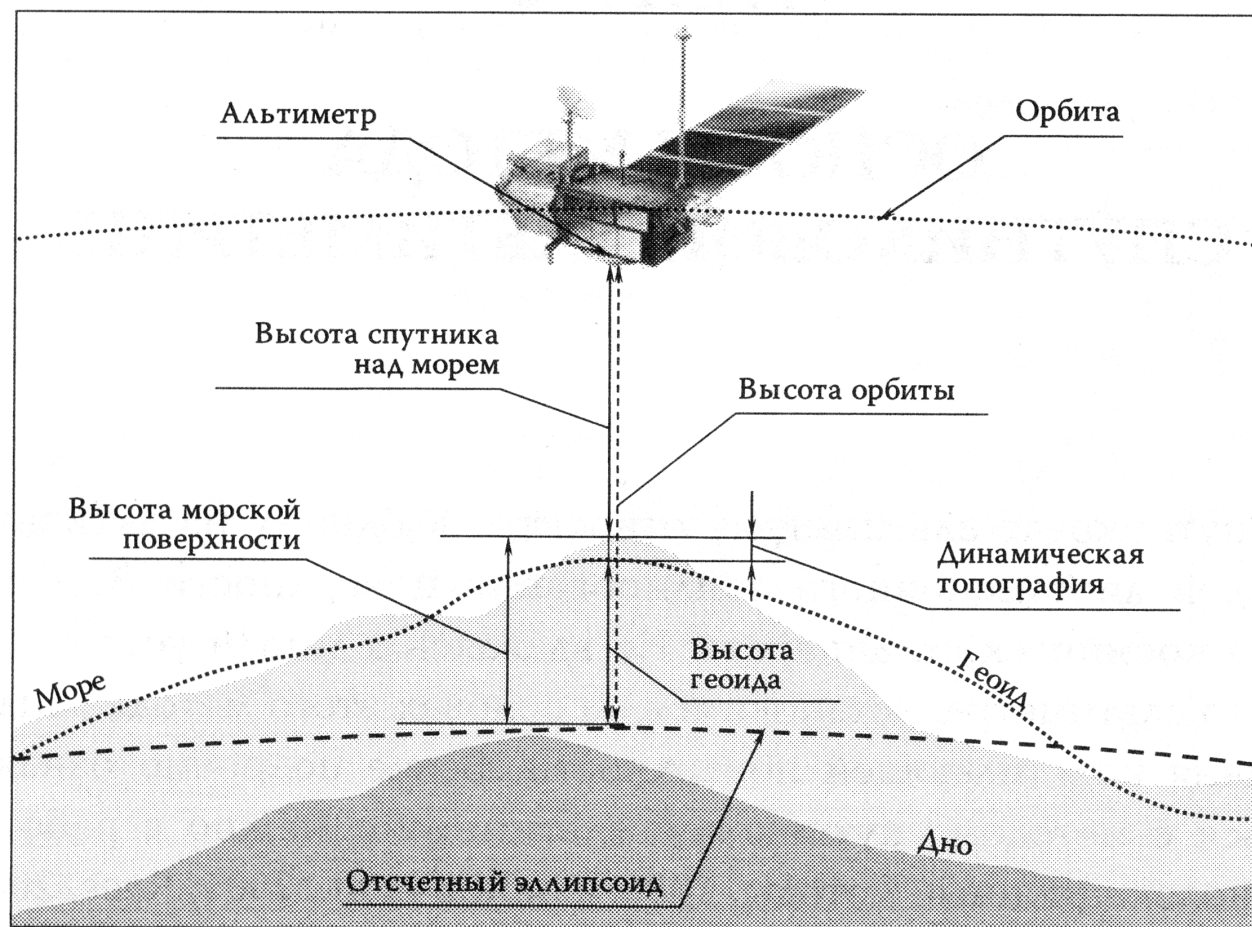
Основные задачи GRACE

Уточнение гравитационного поля Земли, поиск гравитационных аномалий.

Исследование распределения поверхностных и подземных вод с течением времени.

Устранить неуверенность в определении эквипотенциальной (геоидальной) высоты, которая является наибольшим источником ошибки для существующих программ альтиметрии океанов.

Основы метода спутниковой альтиметрии



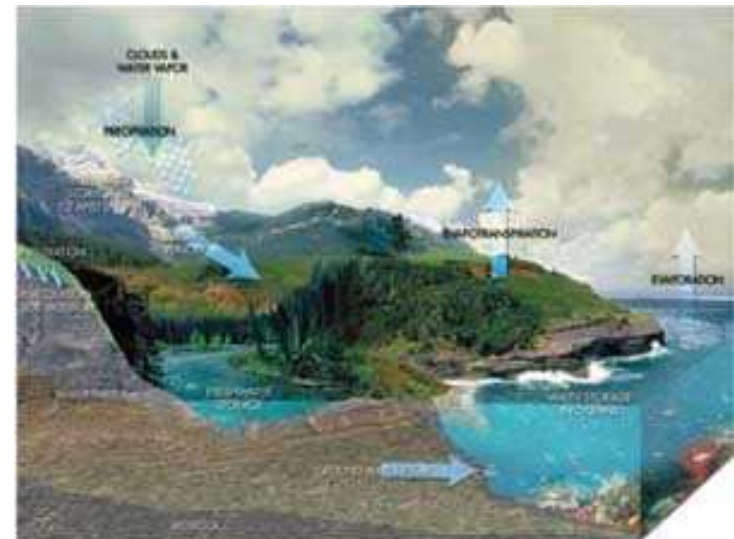
GRACE и гидрология

Главная польза от данных GRACE для гидрологии - в оценке пространственно-временных вариаций водных запасов.

Для сточной области, являющейся базовым элементом в гидрологии, оно имеет вид:

$$P - ET - Q - \Delta S = 0,$$

где P - общая сумма выпадаемых осадков, ET - испарение, Q - разгрузка, а ΔS - изменение запасов воды внутри области (все величины здесь имеют размерность высоты водяного столба в единицу времени). В отличие от остальных величин, определяемых из гидрологических моделей, именно информации об ΔS бывает недостаточно. С применением же оценок по GRACE ситуация значительно меняется в лучшую сторону.

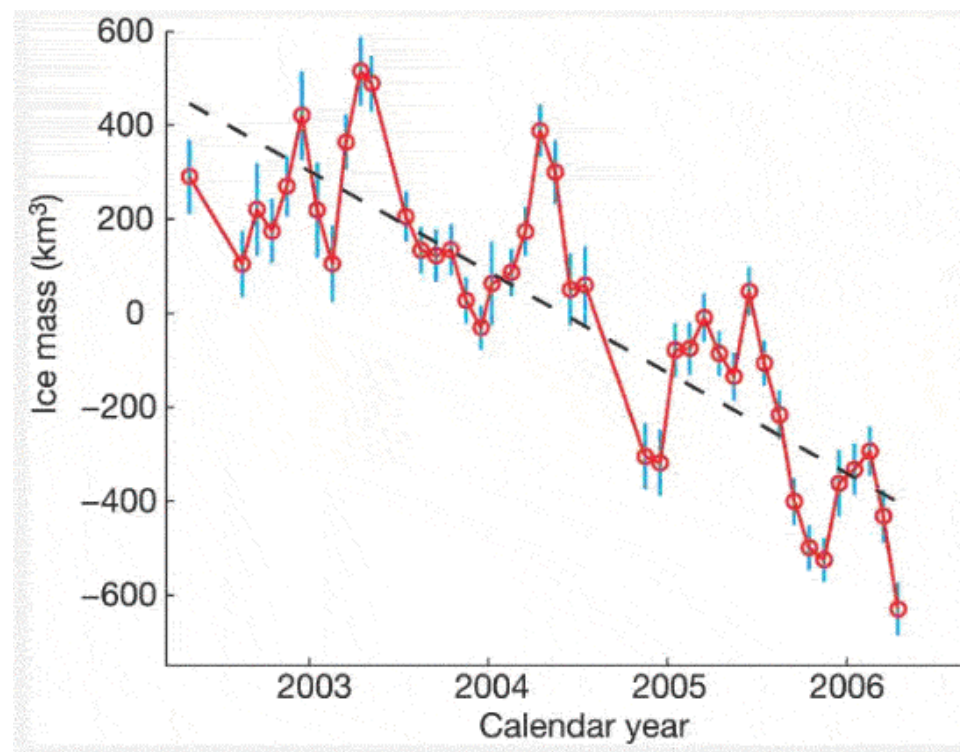


Результаты работы GRACE (1)

Изменение массы ледников Гренландии

Опираясь на данные со спутников GRACE, ученые из США оценили изменения массы всех ледников Гренландии, происходившие с апреля 2002 года по апрель 2006 года. Результаты их исследований свидетельствуют, что за указанный период Гренландия теряла ежегодно более 200 миллиардов тонн льда. Средняя оценка составила 248 ± 36 км³/год, а если сравнивать данные за апрель 2002 года и апрель 2004 года, то скорость таяния льда увеличилась в два с половиной раза.

При этом уменьшение мощности ледового покрова происходило исключительно за счет южной части Гренландии. Масса льда в северных районах оставалась практически неизменной. Таяние гренландских ледников должно сказываться на уровне Мирового океана. Расчет, проведенный авторами обсуждаемой работы, показал, что только за счет этого процесса уровень океана должен подниматься на 0,5 мм в год.



Результаты работы GRACE (2)

В Антарктиде обнаружен гигантский кратер

В 2006 группа исследователей из NASA обнаружила в Антарктиде метеоритный кратер диаметром около 480 км, Кратер Земли Уилкса. Это открытие было сделано на основе анализа данных гравитационных отклонений, зарегистрированных с помощью спутников GRACE. Была зафиксирована 320-километровая гравитационная аномалия, похожая на такие же лунные аномалии. По оценкам специалистов, возраст кратера составляет около 250 миллионов лет. След от гигантского метеорита не мог быть найден раньше по той причине, что находится он в восточной части антарктического ледяного покрова на глубине почти двух километров.

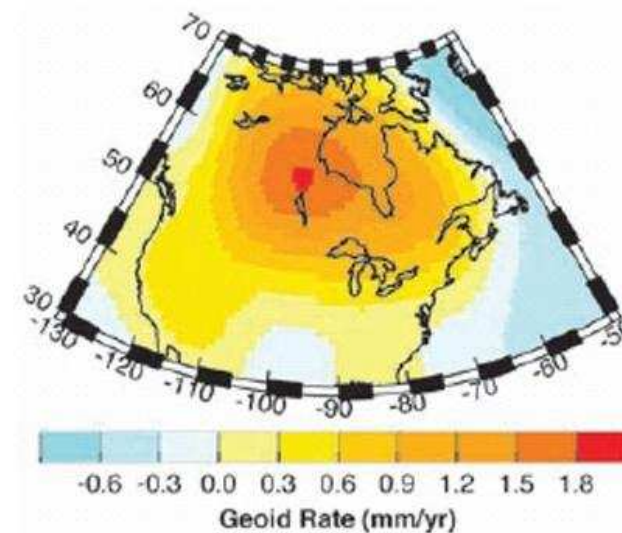


Результаты работы GRACE (3)

Объяснена гравитационная аномалия Канады

Была объяснена гравитационная аномалия Канады. Она связана, как считают ученые с конвекцией расплавленного материала в мантии Земли, приводящей к смещению тектонических плит. Поскольку аппаратура спутников GRACE не обладает достаточной чувствительностью, чтобы напрямую измерить передвижения коры, учёные убрали эффект от воздействия ледника из общей гравитационной картины региона и рассматривали только вклад в это явление от конвекции в мантии.

В результате было установлено, что даже после того, как земная кора окончательно поднимется, гравитация в регионе всё равно будет пониженной из-за конвективного движения в мантии. Используя этот набор данных, исследователи также обнаружили, что на каждой стороне Гудзонова пролива присутствует два ледяных купола, воздействием которых на гравитационное поле ранее пренебрегали.



Заключение

Оценка изменения распределения аномальных поверхностных масс методом GRACE предоставляет правдоподобные данные гидрологии, точно описывающие баланс континентальных вод и поэтому дающие информацию для изучения изменений в климате и в окружающей среде. Однако проектируемая изначально до запуска точность ещё не достигнута, и кроме того, разрешение по пространству пока ограничивается 300 км и сильно зависит от конкретного участка поверхности. Основные проблемы связаны с учётом и устранением разного рода помех. Дальнейшее совершенствование направлено на улучшение данных для создания моделей. Ещё одна важная задача состоит в детализации слабых сигналов. Для обоих этих направлений требуется привлечение дополнительной информации. Наконец, данные GRACE имеют неоспоримую важность, и для продолжения проекта требуется поддержка организаций, использующих эти данные.

Благодарность

Научному руководителю
к. г.-м. н. Лыгину Ивану
Владимировичу