



# КОСМИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Авторы: И. И. Краснорылов

---

КОСМИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЯ, раздел *геодезии*, в котором для решения геодезических, геодинамических и геофизических задач, а также задач координатно-временного обеспечения (создание систем, обеспечивающих потребителей данными о точных координатах и времени) используются результаты наблюдений искусств. и естеств. небесных тел. В качестве объектов наблюдений используются искусств. спутники Земли (ИСЗ), др. космич. аппараты (КА), Луна, звёзды и внегалактич. радиоисточники (квазары, ядра галактик).

## Историческая справка

Возникновение К. г. часто связывают с именем И. *Эйлера*, опубликовавшего в 1768 работу о методах определения фигуры Земли по наблюдениям Луны. В 1-й пол. 20 в. предпринимались неоднократные попытки использовать для решения геодезич. задач т. н. лунные методы: наблюдения затмений, покрытий звёзд Луной, фотографирование Луны на фоне звёзд. Однако применение этих методов не приводило к получению значимых для геодезии результатов из-за малой величины параллакса Луны, слабого знания топографии края лунного диска и недостаточной точности наблюдений.

В 1946 фин. астроном и геодезист И. Вайсяля предложил метод астрономической (звёздной) триангуляции, основанный на синхронном фотографировании на фоне звёзд высоких световых визирных целей, проводимом с двух пунктов. В качестве целей предлагалось использовать, напр., лампы-вспышки, установленные на шарах-пилотах, самолётах, аэростатах и т. д. Метод позволял определять направления наземных хорд (линий, соединяющих пункты на поверхности Земли) протяжённостью 150–250 км с ошибкой порядка 1–1,5" и также относит. положение двух пунктов,

удалённых на такое же расстояние. Однако эффективное развитие К. д. началось только после запуска первого ИСЗ (1957, СССР).

## Предмет и методы космической геодезии

Предметом изучения К. г. являются: теория использования результатов наблюдений небесных тел в геодезии, геодинاميке и геофизике; способы определения орбит и вычисления эфемерид небесных тел; аппаратура для выполнения наблюдений (конструктивные и эксплуатационные особенности, поверки и юстировки, метрологич. обеспечение, методики применения); способы математич. обработки данных, полученных в ходе наблюдений; интерпретация результатов наблюдений и последующей обработки.

Часть К. г. базируется на наблюдениях ИСЗ и называется спутниковой геодезией. Методы спутниковой геодезии подразделяются на динамические и геометрические. Динамич. методы анализируют движение небесных тел, которое в первом приближении определяется [Кеплера законами](#), а при более точном подходе требует учёта возмущающих факторов. Так, на орбиту ИСЗ влияют особенности гравитационного поля Земли, притяжение Луны и Солнца, сопротивление атмосферы, давление солнечной радиации. При особо точных расчётах учитывают также влияние электромагнитных возмущений, давления света, отражённого Землёй, приливов в океане и в земной коре, а также разл. релятивистские эффекты.

Анализ особенностей возмущённого движения ИСЗ позволяет уточнить фигуру Земли (полярное сжатие, эллиптичность земного экватора, «грушевидность» формы) и характеристики её гравитационного поля, определить параметры вращения Земли. Те же данные дают возможность определить воздействие светового давления на ИСЗ, уточнить параметры атмосферы на высоте движения спутника, геоцентрич. гравитационную постоянную

$$f = fM ($$

$f$  – гравитационная постоянная Кэвендиша,

$M$  – масса Земли). Динамич. методы позволяют реализовать единую для всей Земли систему [геоцентрических координат](#).

Геометрич. методы основываются на использовании синхронных наблюдений ИСЗ с двух или более пунктов. На практике точную синхронизацию наблюдений на удалённых друг от друга пунктах осуществить не удаётся. Поэтому наблюдения проводят в перекрывающиеся промежутки времени, а момент синхронизации высчитывают в ходе математич. обработки информации. Т. о., в геометрич. методе ИСЗ играет роль высокой визирной цели, координаты которой в заданный момент времени необходимы только для того, чтобы навести на цель аппаратуру для наблюдений. Геометрич. методы позволяют с высокой точностью получить данные об относит. положении пунктов наблюдений. В связи с этим возможно их эффективное использование для решения некоторых задач геодинамики, напр., для определения относит. перемещения литосферных блоков. Для решения перечисленных выше задач могут использоваться разл. методы наблюдений: фотографические, телевизионные, лазерные, радиотехнические (см. в ст. [Геодезический спутник](#)).

В К. г. применяются также лазерная локация Луны, радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой, спутниковая альтиметрия, межспутниковые наблюдения и спутниковая градиентометрия.

Лазерная локация Луны основывается на измерениях расстояний между наземной обсерваторией и уголковыми отражателями, установленными на Луне (сов. автоматич. станциями «Луна-17 и Луна-21» и амер. пилотируемые КА «Аполлон-11», «Аполлон-14 и «Аполлон-15»). Этот метод позволяет определять координаты наземных пунктов, расстояния между ними, параметры вращения Земли, характеристики осевого вращения и орбитального движения Луны.

В методе радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) проводят наблюдения внегалактич. радиоисточников с помощью радиотелескопов диаметром не менее 30 м, установленных на значительном расстоянии друг от друга. Подобная система в России называется «Квазар–КВО» (КВО – координатно-временное обеспечение) и включает 4 радиотелескопа, расположенных в Ленинградской обл., Карачаево-Черкесии, Бурятии и Приморском крае. Измеряемыми величинами в РСДБ являются временная задержка (разность между моментами прихода радиосигналов от внегалактич. источника на радиотелескопы) и доплеровский сдвиг частоты,

обусловленный вращением Земли. РСДБ даёт возможность с сантиметровой точностью применять относит. положение пунктов, удалённых на расстояние в неск. тыс. км, осуществлять сличение часов на этих пунктах, параметры вращения Земли. В качестве источников радиоизлучения принципиально возможно применять передатчики, установленные на ИСЗ, что позволит использовать радиотелескопы малого диаметра, в т. ч. и передвижные.

В спутниковой альтиметрии с помощью радиовысотомера (или лазерного высотомера), установленного на геодезич. спутнике, измеряется высота ИСЗ над подстилающей поверхностью (преимущественно водной), что позволяет определять топографию Мирового ок., получать различные океанографич. данные и изучать гравитационное поле Земли на акваториях океанов.

При проведении межспутниковых наблюдений определяют параметры, характеризующие взаимное расположение спутников (устанавливая, напр., лазерный дальномер на один спутник и отражатель на другой). Такие наблюдения применяются в навигации КА, а также для изучения гравитационного поля Земли и определения параметров вращения Земли.

В методе спутниковой градиентометрии измеряют вторые производные гравитационного потенциала с помощью градиентометра, установленного на ИСЗ, что позволяет изучать тонкую структуру гравитационного поля Земли. Спутники с градиентометрами на борту движутся на высотах 300–500 км, поэтому принимаются спец. меры для компенсации влияния сопротивления атмосферы на движение ИСЗ.

Начиная с 1990-х гг. большинство геодезич. задач решаются по наблюдениям спутников, образующих глобальные навигационные спутниковые системы ([спутниковые системы позиционирования](#)). К таким системам относятся ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США), в стадии развёртывания находится европ. система Галилео. Работы по созданию подобных систем ведутся также в Китае и Индии, планируются в Бразилии. Спутниковые системы позиционирования получили широкое распространение благодаря ряду факторов: возможность получения геодезич. данных высокой точности (в т. ч. в режиме реального времени), высокая степень автоматизации процессов наблюдений и математич. обработки, независимость

наблюдений от погоды (в связи с использованием радиодиапазона), отсутствие необходимости в прямой видимости между пунктами. Кроме того, такие системы предоставляют возможность одновременного получения трёх пространственных координат пунктов, мониторинга геодинамич. процессов природного и техногенного характера в режиме реального времени, выполнения измерений в движении. Последнее необходимо при аэросъёмке и космич. съёмке, а также в ходе выполнения работ по морской геодезии.

Методы К. г. используются также при изучении др. планет и их спутников, а в перспективе и малых тел Солнечной системы. Так, напр., при создании исследовательской базы на Луне для обеспечения её функционирования и перемещения людей и механизмов по лунной поверхности потребуются разработка и запуск системы координатно-временного обеспечения, аналогичной глобальной навигационной спутниковой системе, действующей на Земле.

## **Литература**

Лит.: *Баранов В. Н., Бойко Е. Г., Краснорылов И. И. и др.*, Космическая геодезия. М., 1986; *Глушков В. В., Насретдинов К. К., Шаравин А. А.*, Космическая геодезия: методы и перспективы развития, М., 2002; *Seeber G.* Satellite geodesy, Berlin, New York, 2003; *Антонович К. М.*, Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии, М., 2005.