

ПОВЕРХНОСТИ ОТНОСИМОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ГЕОДЕЗИИ
REFERENCE SURFACES USED IN GEODESY

И. В. Коновалов, студент

А. С Гусев, кандидат биологических наук,
заведующий кафедрой землеустройства.

Уральский государственный аграрный университет
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Рецензент: А. П. Татарчук

Аннотация

В статье рассматриваются различные поверхности относимости, характеризующие поверхность Земли. Показано, что за физическую поверхность Земли можно принять фигуру, ограниченную невозмущенной поверхностью океанов и морей и продолженную под материками – геоид (квазигеоид). В качестве математической модели принимается общий земной эллипсоид вращения для всей поверхности Земли, а для территории конкретной страны – референц-эллипсоид.

Ключевые слова: планета Земля, геоид, квазигеоид, общий земной эллипсоид, референц-эллипсоид.

Summary

The article discusses various reference surfaces that characterize the surface of the Earth. It is shown that the physical surface of the Earth can be taken as a figure bounded by the undisturbed surface of the oceans and seas and extended under the continents - the geoid (quasi-geoid). As a mathematical model, a common earth ellipsoid of rotation for the entire surface of the Earth is taken, and for the territory of a particular country - a reference ellipsoid.

Keywords: planet Earth, the geoid, quasi-geoid, a common earth ellipsoid, a reference ellipsoid.

Кроме теоретической задачи – определения фигуры Земли, одной из практических задач геодезии является изображение земной поверхности на планах, картах, профилях и цифровых моделях местности.

В том и другом случаях на земной поверхности выполняются геодезические измерения, в том числе измеряются горизонтальные и вертикальные углы, наклонные расстояния, разница высот точек и другие.

Так как физическая поверхность Земли математически не может быть описана, то для обработки результатов геодезических измерений, выполненных на земной поверхности, и изображения местоположения объекта местности необходимо иметь соответствующую модель земной поверхности (поверхности Земли), выраженную математически.

Для этого выполняют несколько приближений земной поверхности для получения плавной поверхности, на которую можно было бы проецировать положение точки земной поверхности, а, следовательно, и геодезические измерения, выполненные на физической поверхности Земли, – поверхности относимости, и которая могла бы быть математически определена.

Как известно, под поверхностью Земли можно понимать поверхность её твёрдой оболочки, т.е. поверхность суши и дна океанов и морей. Однако дно океанов и морей скрыто под толщей

воды, а деятельность человека протекает в основном на поверхности суши и океана. Поэтому в настоящее время под поверхностью Земли, или её физической поверхностью, понимают поверхность суши на материках и поверхность океанов и морей. Суша составляет около 29% земной поверхности и возвышается над уровнем моря в среднем на 900 м, а остальная часть - около 71%, покрыта океанами и морями. Поверхность океана, свободную от ветровых волн, называют *морской топографической поверхностью (МТП)*. Положение морской топографической поверхности зависит от многих факторов, связанных с физическими свойствами морской воды. Одним из основных факторов, формирующих поверхность океана, является плотность морской воды, зависящая от температуры и солёности, а также сжимаемости морской воды ее вышележащими слоями. Сила тяжести является основной силой, определяющей глобальные особенности поверхности океана. Поэтому, хотя океан и не находится в гидростатическом равновесии, морская топографическая поверхность близка к уровенной поверхности поля силы тяжести; отличия между ними менее 3 метров [1]. Такую поверхность будем называть невозмущенной поверхностью океанов и морей. Поэтому за фигуру Земли в первом приближении можно принять фигуру, ограниченную невозмущенной поверхностью океанов и морей и продолженную под материками так, чтобы *отвесные линии во всех ее точках были перпендикулярны к ней*. Такую фигуру немецкий математик и физик Иоганн Бенедикт Листинг (1808-1882 гг.) предложил в 1873 г. назвать геоидом (рис. 1) [2, 3]. Если на акватории Мирового океана геоид в настоящее время с высокой точностью (до 0,1 – 0,3 м по высоте) изучают методом спутниковой альтиметрии, то при изучении фигуры геоида на поверхности суши этот метод не работает, так как необходимо силу тяжести измерять непосредственно на его поверхности, что не осуществимо.

Известный советский учёный Михаил Сергеевич Молоденский (1909-1991 гг.) – выдающийся геодезист и геофизик, член-корреспондент АН СССР - доказал, что по результатам комплекса наземных астрономо-геодезических и гравиметрических измерений теоретически строго может быть определена другая вспомогательная поверхность - поверхность квазигеоида, т.е. «близко» к геоиду. Такая поверхность совпадает с геоидом на морях и океанах и незначительно отклоняется от поверхности геоида на суше: в равнинной местности на 2-4 см, в горах – не более 2 м. Таким образом, определив из обработки результатов измерений параметры квазигеоида и измерив относительно него высоты точек земной поверхности, можно изучить фигуру реальной Земли [2, 4]. Такая фигура Земли ограничена её твёрдой оболочкой на суше и невозмущенной поверхностью морей и океанов.

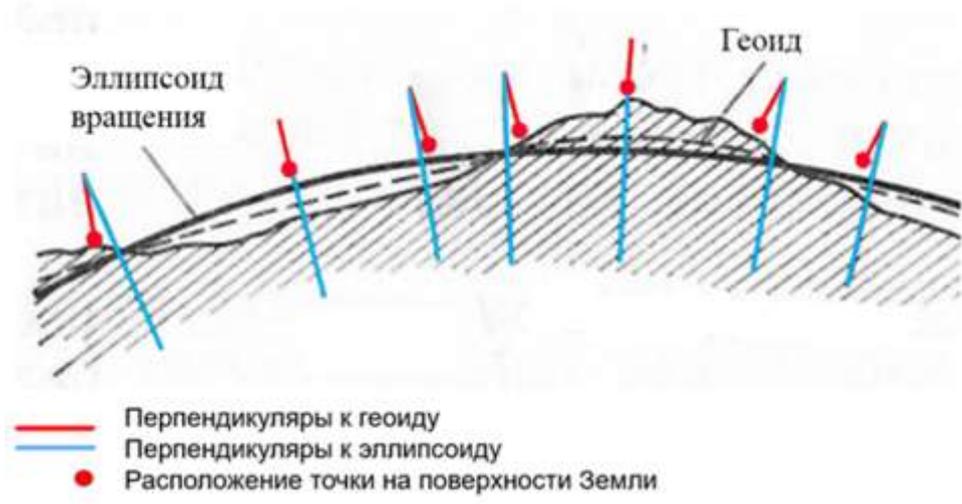


Рис. 1. Поверхности геоида и эллипсоида вращения

С другой стороны, шарообразность планеты соответствует равновесию, установившемуся под действием силы тяжести, при условии, если бы Земля не вращалась вокруг своей оси и имела бы одномерный вещественный состав. В этом случае в первом приближении для решения ряда задач как сравнительно простая модель Земли может быть принята сфера (шар). Но в результате вращения Земли возникает центробежная сила, под влиянием которой появляется сжатие в направлении оси вращения [5].

Исходя из этого, следующей наиболее приемлемой поверхностью относимости можно считать эллипсоид вращения, параметры которого подбирают под условием наилучшего соответствия фигуре квазигеоида (геоида) в пределах всей Земли, и который называют общим земным эллипсоидом. Эллипсоид вращения является математически определенной поверхностью (рис. 1, 2). В настоящее время для решения ряда специальных задач используются различные общеземные эллипсоиды (табл. 1).

По результатам современных исследований для эллипсоида WGS 84 получены высоты геоида над эллипсоидом. При этом выделены области отрицательных высот до 100 м и более (большая часть Азии, восточная часть Индийского океана и прилегающая часть Антарктиды, Северная Америка, Мексиканский залив, восточная часть Тихого океана) и области положительных высот от 40 до 60 м (Европа, большая часть Африки, Индийский океан к югу от Африки и Атлантический океан, а также центральная часть Тихого океана). В общем поверхность геоида не повторяет форму физической поверхности Земли и сформирована распределением масс в глубоких слоях Земли [1].

Таблица 1

Современные характеристики общеземных эллипсоидов

Название	Год (Эпоха)	Страна/организация	a, м	1/α	Примечание
GRS80	1980	МАГГ (IUGG)	6378137	1:298,257222101	(англ. Geodetic Reference System 1980) разработан Международным геодезическим и геофизическим союзом (англ. International Union of Geodesy and Geophysics) и рекомендован для геодезических работ
WGS84	1984	США	6378137	1:298,257223563	(англ. World Geodetic System 1984) применяется в системе спутниковой навигации GPS
ПЗ-90	1990	СССР	6378136	1:298,257839303	(Параметры Земли 1990 года) используется на территории России для геодезического обеспечения орбитальных полетов . Этот эллипсоид применяется в системе спутниковой навигации ГЛОНАСС
MCB3 (IERS)	1996	IERS	6378136,49	1: 298,25645	(англ. International Earth Rotation Service 1996) рекомендован Международной службой вращения Земли

В отдельных случаях для обработки результатов геодезических измерений в пределах одной страны или группы рядом расположенных стран определяют эллипсоид, размеры и ориентирование которого в теле Земли наиболее подходит для данной территории. Такие эллипсоиды носят названия референц-эллипсоидов (рис. 2).

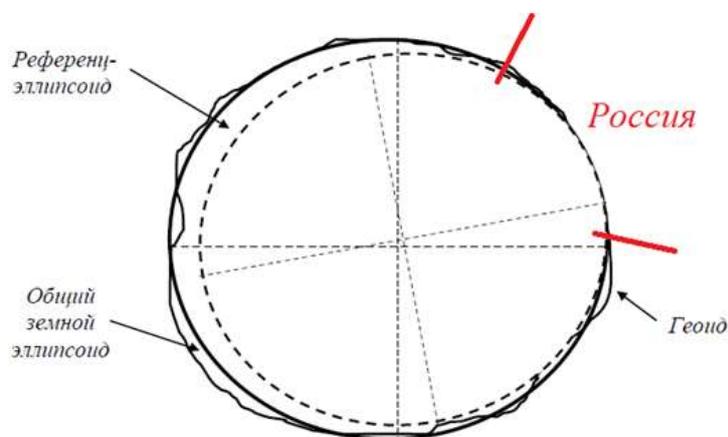


Рис. 2. Геоид, общий земной эллипсоид, референц-эллипсоид Красовского

Параметры некоторых референц-эллипсоидов [3, 6] приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры некоторых референц-эллипсоидов

Эллипсоид	a	b	1/f	Страны
Красовского (1940)	6378245	6356863	1:298,3	Россия, СНГ, Вост. Европа
Бесселя (1841)	6377397	6356079	1:299,2	Европа и Азия
Хейфорда (1909)	6378388	6356912	1:297	Европа, Азия, Ю. Америка
Кларка I (1866)	6378206	6356584	1:295	С. и Ц. Америка
Кларка II (1880)	6378249	6356515	1:293,5	Африка
Эйри (1880)	6377491	6356185	1:299	Великобритания
Эвереста (1830)	6376276	6356075	1:301	Индия, Пакистан

В частности, эллипсоид Красовского – это референц-эллипсоид земной поверхности, форма и размеры которого были вычислены советским геодезистом А.А. Изотовым и который в 1940 году назван именем Ф.Н. Красовского. Эллипсоид Красовского является наиболее точным из всех эллипсоидов, полученных из обработки наземных измерений. Его размеры близки к размерам общего земного эллипсоида, полученным по данным

наблюдений искусственных спутников Земли: сжатие практически одинаковое, а большие полуоси отличаются всего лишь на 108 метров. Для него отклонения высот на большей части СССР не превышали по абсолютной величине 10 м. В северо-восточной части страны (Чукотка) аномалии высоты убывают до -30 - 40 м, в юго-восточной части они возрастают до 40-50 м. В целом эллипсоид Красовского хорошо представляет геоид на территории России [1].

Референц-эллипсоид используется для распространения на всю территорию страны единой системы координат. Эта задача неразрывно связана с выбором начального пункта системы, т.е. с установлением исходных геодезических дат.

Исходные геодезические даты — совокупность величин, определяющих положение референц-эллипсоида, принятого для обработки геодезической сети какой-либо страны или группы стран, относительно геоида, т. е. величин, фиксирующих положение референц-эллипсоида в теле Земли.

Исходным пунктом для референц-эллипсоида Красовского в 1942 году был принят центр круглого зала Пулковской обсерватории, не являющийся пунктом триангуляции. Высота геоида над поверхностью эллипсоида в Пулково была принята равной нулю. Геодезические координаты Пулково равны $B_0 = 59^{\circ}46'18,55''$, $L_0 = 30^{\circ}19'42,09''$. Исходные геодезические даты B_0 и L_0 и геодезический азимут $A_0 - 121^{\circ}40'38,79''$ исходной стороны Пулково - сигнал Бугры были приняты для уравнивания 87 полигонов астрономо- геодезической сети СССР, в результате которого получена система 1942 г.

Так как центр круглого зала Пулковской обсерватории не является пунктом триангуляции, исходными геодезическими датами приняты координаты сигнала А, находящегося приблизительно в 250 метрах от Пулково, $B_0 - 59^{\circ}46'15,359''$, $L_0 = 30^{\circ}19'28,318''$, $A_0 = 121^{\circ}06'42,305''$ на пункт Бугры. Эти исходные геодезические даты включены в Положение о построении государственной геодезической сети 1954 г. На сигнале А установлен солидный четырехгранный столб, в верхнее основание которого вмонтирована бронзовая марка с надписью: «Трианг. ГУГК-001». На северной стороне столба укреплена памятная металлическая доска с надписью: «Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР «Сигнал А», построен в 1886 г. восстановлен в 1981 г. Охраняется государством» [1].

Принятая система координат прослужила более 50 лет. Ее точность характеризовалась средней квадратической ошибкой положения любого пункта на Западе страны - величиной в несколько метров, на Востоке – до 15м и более. В 70-80-х годах началась модернизация государственной геодезической сети и ошибки удаленных пунктов снизились до 4м, а в конце XX века были снижены до величины менее 1м. [7].

Библиографический список

1. *Огородова Л. В.* Высшая геодезия. Часть III. Теоретическая геодезия: учебник для вузов. М.: Геодескартиздат, 2006. 384 с.
2. *Кленко В. Л., Александров А. В.* Система координат в геодезии. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 144 с.
3. *Большаков В. Д., Левчук Г. П.* Справочник геодезиста (в двух книгах). Изд. 2, перераб. и доп. М.: Недра, 1975. 1056 с.
4. *Яковлев Н. В.* Высшая геодезия: учебник для вузов. М.: Недра, 1989. 445с.
5. *Судакова С. С.* Общее землеведение: учебник для вузов. М.: Недра, 1987. 325 с.
6. slide-share [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://slide-share.ru/kartograficheskieproekcii-141664>.

7. topuch [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://topuch.ru/lekcii-po-istorii-geodezii-tema--zachem-nado-znate-istoriyu-ge/index6.html>.