

В.П. Гаврилов

**Общая и историческая геология и геология
СССР**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 91
ББК 26.8
В11

В.П. Гаврилов
В11 Общая и историческая геология и геология СССР / В.П. Гаврилов – М.: Книга по Требованию, 2024. – 496 с.

ISBN 978-5-458-36162-0

Рассмотрены внутреннее строение Земли, геологическая деятельность главных факторов ее внешней и внутренней динамики, формы залегания горных пород, тектонические движения и методы их изучения, типы структур тектоно- и литосферы. Изложены основы палеонтологии, главные этапы геологической истории развития Земли. Дана характеристика регионального тектонического строения территории СССР и полезных ископаемых. Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

ISBN 978-5-458-36162-0

© Издание на русском языке, оформление
«УОУО Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ВВЕДЕНИЕ

Первый, *начальный* этап в развитии геологии приходится на XVIII в. Для него характерны накопление и первичная систематизация геологических данных.

Второй, *фундаментальный* этап развития геологии приходится на XIX в. В это время закладываются фундаментальные основы науки. Благодаря трудам У. Смита, Ж. Кювье и А. Броньяра появляется возможность сопоставления разновозрастных геологических пород и, следовательно, проведения исторического анализа.

В начале XIX в. Ж. Кювье формулирует теорию катастроф, согласно которой развитие животного и растительного мира на Земле происходит через мировые катастрофы (катаклизмы), выражающиеся в вымирании прежних представителей и появлении новых особей. Эта теория определила направление в естествознании, получившее название *катастрофизма*. Последователи Ж. Кювье распространили его идеи и на геологию, считая, что в периоды мировых катастроф происходила не только смена животного и растительного мира, но и существенные изменения в геологическом строении Земли.

В середине XIX в. идеи катастрофизма были подвергнуты критике со стороны английского ученого Ч. Дарвина, заложившего основы нового направления в естествознании — *эволюционизма*. Развитие органического мира и течение геологических процессов представлялись как медленно развивавшиеся явления, характеризующиеся постепенным переходом от одних форм к другим.

Несколько ранее (1830—1833 гг.) другой английский ученый — Ч. Лайель в капитальном труде «Основы геологии» высказал идею, что геологические процессы, наблюдаемые в настоящее время, раньше протекали по тем же законам, что и в давно прошедшие эпохи. Следовательно, изучая современные геологические явления, можно восстановить геологическую историю развития Земли. Возникшее направление получило название *униформизма*, а новый метод познания геологической истории миновавших эпох — *принципа актуализма*.

Выдающееся событие фундаментального этапа — возникновение учения о геосинклиналях и платформах. Вначале американские, а позднее и европейские геологи обратили внимание на существование горных (складчатых) зон, которые возникли на месте глубоких прогибов. Первым начал выделять их американский геолог Дж. Холл (1859 г.), позднее его соотечественник Дж. Дэна (1873 г.) применил для обозначения таких

структур термин *геосинклиналь*. Русские геологи А. П. Карпинский, А. П. Павлов, Н. А. Головинский, А. Д. Озерский в противовес геосинклиналям выделили *платформы* — равнинные территории со спокойным режимом тектонических движений. Учение о геосинклиналях и платформах явилось краеугольным камнем геологии, определившим дальнейшее развитие этой науки.

Фундаментальный этап завершился выходом в свет трехтомного труда австрийского геолога Э. Зюсса «Лик Земли» (1883—1909 гг.). В этой классической монографии впервые был обобщен весь накопленный к тому времени геологический материал, намечены общие черты строения и развития Земли. Наблюдаемые геологические процессы Э. Зюсс объяснял с позиции контракционной гипотезы, основанной на представлениях И. Канта и П. Лапласа о первоначально огненно-жидком состоянии нашей планеты и постепенном ее остывании.

Первая половина XX в. (до 50-х годов) характеризуется критикой фундаментальных основ геологии. Этот период в развитии геологии выделяют в качестве *критическо-революционного* этапа.

В начале XX в. была доказана несостоятельность воззрений Канта—Лапласа на происхождение Земли. В 40-х годах появилась гипотеза О. Ю. Шмидта, окончательно подорвавшая устои контракционизма. В 50-х годах началось широкое изучение дна Мирового океана. Запуск искусственных спутников Земли и орбитальных космических станций позволил получить уникальный фактический материал по геологии нашей планеты и других планет Солнечной системы. Все эти данные послужили основой для пересмотра традиционных представлений в геологии.

С помощью инструментальных методов были установлены факты существенного горизонтального перемещения крупных глыб (пластин или плит) литосферы относительно друг друга. Выявлено существование глобальной рифтовой системы, рассекающей дно Мирового океана, а в ряде случаев и континенты. Вдоль побережий Тихого океана обнаружены зоны глубокофокусных землетрясений (зоны Вадати—Заварицкого—Беньофа), свидетельствующие о возможном «подтекании» океанической коры под материка. Все эти факторы обусловили появление новой концепции, получившей название *глобальной тектоники плит* и внесшей революционные изменения в современную геологию.

Принципиальные сдвиги произошли и в наших представлениях о происхождении Земли и планет Солнечной системы. Развивая идеи О. Ю. Шмидта и используя новейший материал по составу вещества Луны и метеоритов, А. П. Виноградов выдвинул и научно обосновал идею о формировании планет из

протопланетного облака космической пыли за счет аккреции (собираения) вещества.

По образному выражению В. И. Вернадского, развитие геологических наук в XX в., подобно взрыву, внезапно осветило дотолем мало освещенное пространство. Характеризуя этот «взрыв», В. И. Вернадский писал: «Мы переживаем не кризис, волнуящий слабые души, а величайший перелом научной мысли человечества, совершающийся лишь раз в тысячелетие, переживаем научные достижения, равных которым не видели долгие поколения наших предков».

Критическо-революционный этап в развитии геологии обострил дискуссию в различных областях геологических знаний, что, в свою очередь, стимулировало дальнейшее продвижение геологической мысли. Для доказательства тех или иных геологических процессов стали шире применять физико-математический аппарат, что способствовало проникновению в геологию такого нового метода познания как *математическое моделирование*. Существенно расширилась связь геологии с другими науками: физикой, математикой, химией, астрономией, астрофизикой, биологией, которые обогащают геологию своими знаниями и методами познания.

Тенденции к усилению фундаментализации геологии, с одной стороны, и резкому повышению ее практической значимости в жизни человеческого общества, с другой стороны,— вот наиболее отличительные черты *современного* этапа ее развития (последние 20—25 лет).

Часть I

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Раздел первый

СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

Глава I

ПОЛОЖЕНИЕ ЗЕМЛИ В ПРОСТРАНСТВЕ, ЕЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

§ 1. ЗЕМЛЯ, ЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕ, ФОРМЫ ДВИЖЕНИЯ

Земля — одна из девяти планет Солнечной системы, диаметр которой (до орбиты Плутона) составляет $5,9 \cdot 10^9$ км. Планеты Солнечной системы движутся по орбитам, наклон которых очень близок друг другу. Именно поэтому планеты и большая часть их спутников обращаются вокруг Солнца практически в одной плоскости; в то же время они вращаются вокруг собственных осей. Данное обстоятельство позволяет показать на одной двухмерной схеме всю Солнечную систему (рис. 1). Согласованность движения Солнца, планет и их спутников, за редким исключением, указывает на их общее происхождение из единого облака межзвездной материи.

Расстояние планет от Солнца измеряется в *астрономических единицах* длины (а. е. или а. е. д.). Эта единица равна среднему расстоянию Земли от Солнца. 1 а. е. = 149,6 млн. км. Приблизительно расстояние описывается правилом Титуса—Боде:

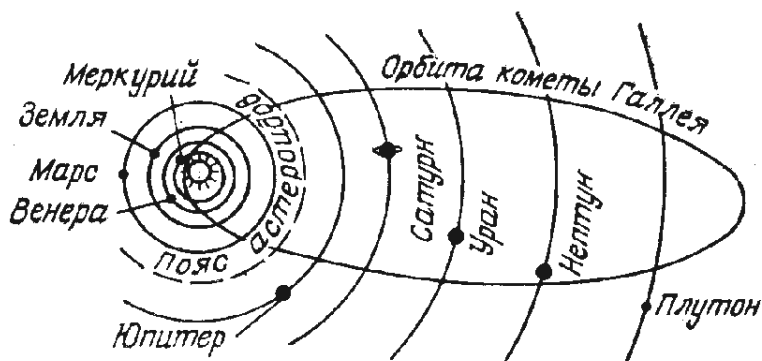
$$\gamma = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n,$$

где γ — удаление планеты от Солнца, а. е.; n — коэффициент, равный для Меркурия — ∞ , Венеры — 0, Земли — 1, Марса — 2, пояса астероидов — 3, Юпитера — 4 и т. д. Таким образом расстояние от Меркурия до Солнца равно 0,39 а. е., от Венеры — 0,72, от Земли — 1, от Марса — 1,52, от Юпитера — 5,2, от Сатурна — 9,54, от Урана — 19,9, от Нептуна — 30,1, от Плутона — 39,7.

Среди планет Солнечной системы выделяют две группы: внутренние планеты (от Меркурия до Марса) и внешние (от Юпитера и далее). Внутренние планеты «земного» типа сравнительно небольшие, их средние плотности соизмеримы со

Рис. 1. Строение Солнечной системы.

Планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, которые располагаются почти в одной и той же плоскости



средней плотностью Земли. Например, средняя плотность Земли $5,52 \cdot 10^3$ кг/м³, Венеры $5,1 \cdot 10^3$, Марса $4,1 \cdot 10^3$ и т. д. Внешние планеты имеют значительно большую массу и размеры, но их средняя плотность намного уступает средней плотности внутренних планет (например, у Сатурна она равна $0,7 \cdot 10^3$ кг/м³). Исключением является Плутон, который по своим параметрам близок к планетам «земного» типа, хотя приближенно и для него выполняется правило Титуса—Боден при $n=7$. В связи с этим Плутон рассматривают иногда как отделившийся спутник одной из внешних гигантских планет Солнечной системы.

Особое место в Солнечной системе занимает *пояс астероидов* — малых твердых тел. Ученые считают, что, возможно, это остатки разрушившейся планеты Фэтон или сообщество космических фрагментов, агломерация которых не достигла стадии образования планет. Пояс астероидов, в составе которого насчитывается свыше 50 тыс. тел, питает всю Солнечную систему *метеоритами* — твердыми телами,двигающимися по орбитам вокруг Солнца и смещенными со своих орбит в результате гравитационного влияния других планет или столкновений. Метеориты подразделяют на два основных типа: «железные» и «каменные». Железные метеориты состоят в основном из металлического железа с примесью Ni и других металлов; каменные — из силикатов Mg и Fe с примесью металлов. Каменные метеориты делятся в свою очередь на *хондриты* и *ахондриты*. Хондриты на 85 % состоят из мелких сферических зерен силикатов Mg — *хондр*, образование которых связывают с кристаллизацией расплавленных капелек. Встречаются также углистые хондриты, состоящие из гидросиликатов, оливина, карбонатов и сульфатов Mg и Ca, оксидов Fe и углеродистых соединений. Их происхождение не выяснено.

Центром Солнечной системы является Солнце, на долю которого приходится 99,8 % общей массы Солнечной системы. Если учесть, что масса Юпитера, самой крупной планеты системы, составляет 0,1 %, то на долю остальных планет и астероидов приходится лишь 0,1 % массы Солнечной системы.

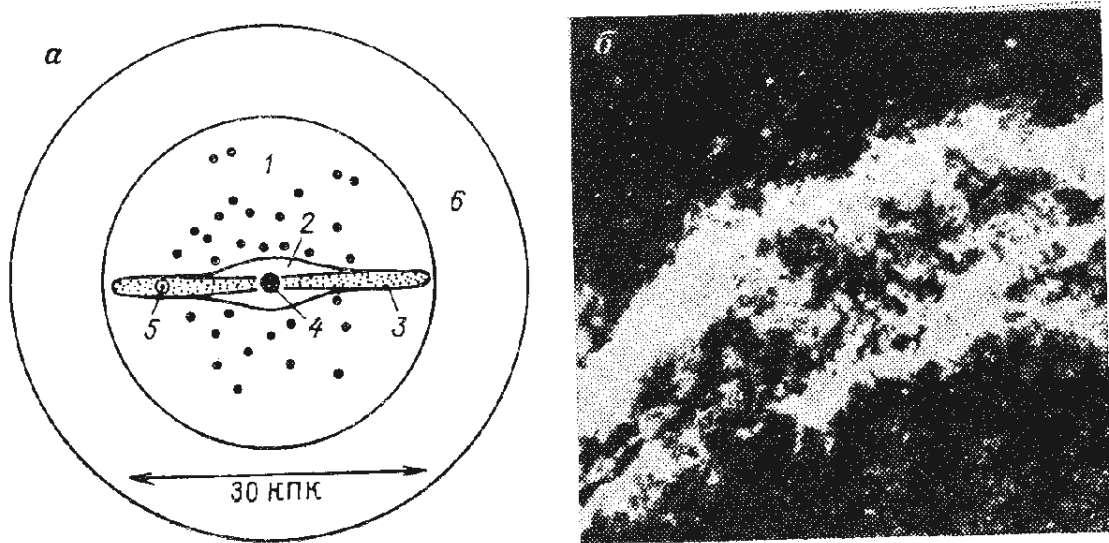


Рис. 2. Схема строения Галактики (а) и один из участков Млечного Пути, содержащий звезды и газопылевые облака (б):
 1 — сферическая составляющая; 2 — диск; 3 — слой газопылевых облаков; 4 — ядро; 5 — Солнце; 6 — корона;
 точками показаны шаровые скопления; размеры условные

Поэтому Солнце — центр притяжения всего множества движущихся вокруг него планет, астероидов, метеоритов и комет, составляющих вкуче с ним Солнечную систему.

Солнце — центр нашего мироздания. Это — одна из сотен миллиардов звезд, образующих нашу Галактику, известную под названием Млечный Путь (от греч. galaktikos — млечный). Любая галактика вообще — это гигантское скопление миллиардов или триллионов звезд и связанной с ними рассеянной материи. Обычно галактики в плане имеют форму закрученной спирали, а в профиль — диска. Не представляет собой исключения и Млечный Путь, диаметр которого около 100 тыс. световых лет¹, а толщина — около 20 тыс. световых лет. Поскольку Солнечная система располагается внутри нашей Галактики, то земному наблюдателю доступен лишь край из ее срединной области, и Млечный Путь кажется нам не спиральным скоплением, а полосой звездной материи, пересекающей небо.

Солнечная система располагается в пределах экваториальной плоскости галактического диска (рис. 2). Центр Галактики скрыт от наблюдателя скоплением межзвездной пыли. Считается, что он расположен за созвездием Стрельца. Его окружают около 120 видимых шаровых скоплений звезд, каждое из которых содержит от 10 тыс. до 1 млн звезд.

¹ 1 световой год соответствует длине пути, который свет проходит за 1 год со скоростью $\sim 3 \cdot 10^8$ м/с, что равняется $9,46 \cdot 10^{12}$ км; 3,263 светового года составляют 1 парсек (сокращенно от параллакс и секунда); 1 пк = $= 3,086 \cdot 10^{13}$ км, 1000 пк = 1 кпк (килопарсек); 1 пк = 206 265 а. е.

Все звезды Млечного Пути вращаются вокруг центра Галактики. Солнце и вся Солнечная система, двигаясь со скоростью $240 \cdot 10^3$ м/с, совершают один оборот вокруг него за 230 млн лет. Это так называемый *галактический год*.

В свою очередь Земля вместе со своим естественным спутником — Луной, вращаясь вокруг Солнца по слабо вытянутой эллиптической орбите (радиус $\sim 149,6$ млн км) со скоростью $29,7 \cdot 10^3$ м/с, совершает полный оборот за 365,26 сут. Солнце находится не в центре орбиты, а в одном из ее фокусов, поэтому во время обращения вокруг Солнца Земля периодически то приближается к нему (точка максимального приближения называется *перигелием* — 147,1 млн км), то удаляется от него (точка максимального удаления называется *афелием* — 152,1 млн км). Отношение половины фокального расстояния к длине большой полуоси характеризует сжатие эллипса и называется *эксцентриситетом* ϵ

$$\epsilon = c/a,$$

где c — расстояние от центра эллипсоида до одного из фокусов; a — длина большой полуоси эллипсоида (рис. 3).

В настоящее время для Земли $\epsilon = 0,017$. Это небольшое сжатие орбиты обуславливает сезонные колебания температуры, так как в афелии Земля находится на 5 млн км дальше от Солнца, чем в перигелии. Величина эксцентриситета непостоянна и периодически в течение примерно 200 тыс. лет колеблется от 0,0033 до 0,078, в связи с чем земная орбита становится то более круговой, то более эллипсоидальной, что является одной из причин глобального изменения климата планеты.

Движение Земли вокруг Солнца, как и движение других планет Солнечной системы, описывается тремя законами И. Кеплера (1571—1630 гг.):

1) все планеты вращаются вокруг Солнца по эллипсам, в одном из фокусов которых расположено Солнце;

2) радиусы-векторы планет описывают в одинаковые отрезки времени равные площади; т. е. чем ближе к Солнцу находится планета, тем быстрее она движется и, наоборот, чем дальше от Солнца планета, тем движение ее медленнее;

3) квадраты времени обращения планет вокруг Солнца относятся между собой как кубы больших полуосей их эллипсов.

Позднее И. Ньютон (1643—1727 гг.) доказал, что такое движение планет должно наблюдаться в том случае, если Солнце притягивает планеты с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния до планеты. Согласно открытому И. Ньютоном закону всемирного тяготения, любые две материальные частицы притягивают друг друга с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. И. Ньютон установил

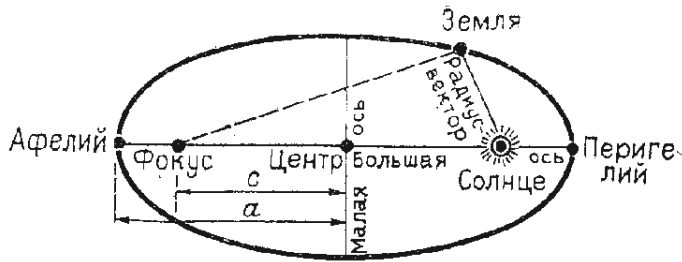


Рис. 3. Схема обращения Земли вокруг Солнца. Усл. обозначения см. в тексте

точную математическую зависимость сил притяжения от массы тел и расстояния между ними и доказал, что именно эти силы управляют движением планет и спутников в нашей Солнечной системе. Законы И. Кеплера оказались следствием закона всемирного тяготения.

Наряду с движением вокруг Солнца, Земля вращается вокруг своей оси, совершая полный оборот за 23 ч 56 мин 6 с. Ось вращения образует с плоскостью земной орбиты угол порядка $66^{\circ}33'$. Ориентация оси вращения, а следовательно, и угол наклона со временем меняются. Ось совершает медленное (период 26 тыс. лет) конусо- или волчкообразное вращение относительно перпендикуляра к плоскости орбиты. Это движение земной оси называется *прецессией*. Кроме прецессии для земной оси характерны незначительные по амплитуде изменения угла наклона с периодом в 18,6 лет, которые получили название *нутаций*. Они обусловлены притяжением Солнца и Луны. Фактически прецессия и нутация происходят одновременно, поэтому земная ось описывает в пространстве довольно сложные незамкнутые линии, похожие на окружность.

§ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕМЛИ (ФОРМА, РАЗМЕРЫ, МАССА, ПЛОТНОСТЬ И Т. Д.)

Предположение о шарообразной форме Земли высказывалось еще древнегреческим ученым Пифагором (6 в. до н. э.). В XVIII в. И. Ньютон на основе расчетов доказал, что силы вращения придадут Земле сплюснутость у полюсов. В настоящее время установлено, что полярный радиус меньше экваториального на 21,38 км ($R_{\text{п}}=6356,78$ км, $R_{\text{э}}=6378,16$ км). Поэтому фигура Земли скорее похожа на *эллипсоид* вращения относительно малой оси, чем на шар. Такой эллипсоид получил название *сфероида*. Для земного эллипсоида (референц-эллипсоид) сжатие у полюсов $\alpha_{\text{п}}$, определенное с помощью искусственных спутников Земли, оказалось равным $1/298,258$. Более точные измерения фигуры Земли показали, что она сплюснута не только у полюсов, но и у экватора. Экваториальное сжатие $\alpha_{\text{э}}$ составляет $1/30\,000$; разница между большой и малой полуосями экваториального эллипса 213 м. Из этого следует, что

Земля не шар и не сфероид, а *трехосный эллипсоид* — геометрическое тело с двойным (полярным и экваториальным) сжатием. Но и эта сложная геометрическая фигура полностью не соответствует истинной форме нашей планеты.

В настоящее время за фигуру Земли принимается уровенная поверхность, совпадающая на океанах с невозмущенной ветрами и течениями поверхностью воды, а на суше — с уровнем воды в воображаемых бесконечно узких каналах, пересекающих материки и соединенных с Мировым океаном. Эта фигура получила название *геоида* (рис. 4). Сложная поверхность геоида обусловлена неравномерным распределением масс различной плотности в земных недрах: при дефиците масс происходит опускание поверхности геоида относительно поверхности сфероиды, при избытке — ее подъем, т. е. другими словами высоты геоида прямо пропорциональны амплитудам гравитационных аномалий. Эти отклонения от поверхности сфероиды колеблются от 50 до 150 м.

Площадь земного геоида составляет 510,2 млн км², объем — 1,083 млрд км³; радиус шара, равновеликого геоиду, — 6371 км.

Масса Земли определяется исходя из второго закона И. Ньютона, согласно которому силу тяжести на поверхности Земли F можно выразить как

$$F = mg,$$

где m — масса притягиваемого тела; g — ускорение свободного падения.

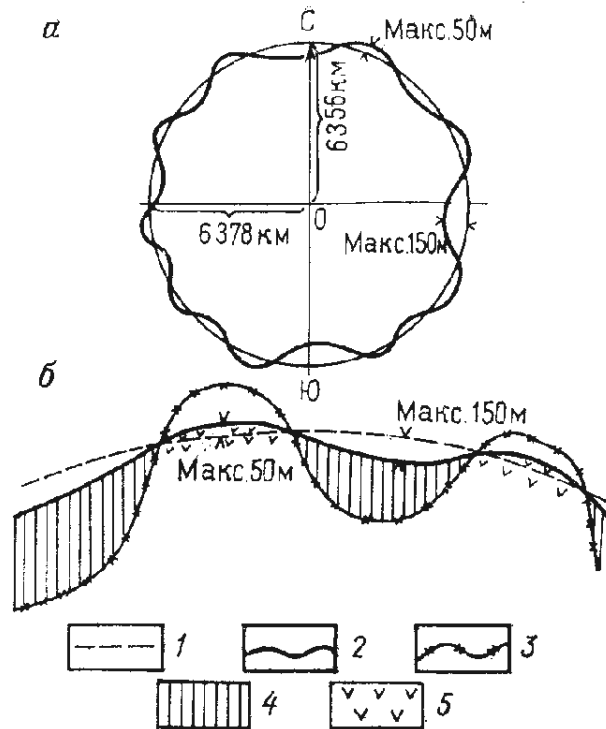


Рис. 4. Разрез поверхностей эллипсоида вращения и геоида (а) и соотношение между истинной поверхностью твердой оболочки Земли, поверхностью эллипсоида вращения и поверхностью геоида (б).

Поверхность: 1 — земного эллипсоида вращения; 2 — геоида, 3 — твердой оболочки Земли; 4 — вода в морях и океанах; 5 — воображаемые бесконечно узкие каналы, пересекающие материки и соединяющие моря и океаны

Полагая, что масса m притягивается Землей, представленной точечной массой M , на основании закона всемирного тяготения получим:

$$F = f \frac{m \cdot M}{R^2},$$

где f — гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-11}$ Н · м²/кг²; R — расстояние между Землей и телом массой m .

Приравняв правые части этих уравнений и сделав некоторые преобразования, получим формулу для расчета массы Земли:

$$M = \frac{1}{f} g R^2.$$

После подстановки в формулу соответствующих значений f , g и R получим массу Земли, равную $5,98 \cdot 10^{24}$ кг.

Зная объем земного геоида, можно определить *среднюю плотность* вещества нашей планеты $\sigma_{\text{ср}}$

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \sigma_{\text{ср}},$$

откуда

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{3}{4} \frac{g}{f \pi R^3}.$$

Вычисленная средняя плотность Земли равна $5,517 \cdot 10^3$ кг/м³. Учитывая, что плотность известных нам горных пород, определенная прямыми методами, изменяется в пределах $1,6—3,2 \cdot 10^3$ кг/м³, можно предположить, что вещество в глубоких недрах планеты существенно более плотное по сравнению со средней цифрой. Действительно, при изучении землетрясений установлено, что плотность земного вещества с глубиной увеличивается, так как возрастает скорость прохождения в земном веществе упругих волн. Однако рост плотности происходит не пропорционально росту глубины. Плотность меняется скачкообразно. Наиболее существенные скачки плотности отмечаются на следующих глубинах: 33 км (в среднем), 410, 1000, 2900 и 5200. В соответствии с этим выделяют: земную кору, верхнюю, среднюю и нижнюю мантии, внешнее и внутреннее ядра Земли (рис. 5). В пределах выделенных геосфер плотность вещества меняется таким образом ($n \cdot 10^8$ кг/м³): 1,6—3,2; 3,3—3,63; 4,0—4,6; 4,8—5,5; 10,6—12,3; 13,3—13,6.

С глубиной возрастают и другие физические параметры Земли, прежде всего давление и температура. Например, *горное давление* в подошве земной коры — $1,3 \cdot 10^3$ МПа, на границе