

Внутреннее строение Земли

Земля устроена слоями: кора, мантия и ядро. Их свойства меняются с глубиной.



Почему недра Земли так важны для науки



До центра Земли около 6371 км, поэтому заглянуть внутрь напрямую нельзя. Самая глубокая Кольская скважина — 12 262 м. Выводы делают по сейсмическим волнам, породам, магнитному полю и опытам в лаборатории.

Как узнают о строении Земли

I

Сейсмические волны, возникающие при землетрясениях, проходят через Землю и меняют скорость на границах слоёв. По этим “переломам” судят о толщине и свойствах коры, мантии и ядра.

2

Если волны проходят через разные материалы, они ведут себя по-разному: отражаются, преломляются и меняют направление. Это помогает установить, где вещество становится твёрже или мягче.

3

Дополняют картину наблюдения за горными породами и вулканическими извержениями. Также сравнивают Землю с метеоритами, чтобы понять, какие материалы могли быть “кирпичиками” планеты.

Главные слои Земли

Слой	Диапазон глубин	Состояние	Ключевая особенность
Земная кора	5–70 км	твёрдая	тонкая оболочка
Мантия	до 2900 км	твёрдая, пластичная	очень плотная
Ядро	2900–6371 км	внешнее жидкое, внутреннее твёрдое	самое тяжёлое

Кора, мантия и ядро отличаются толщиной, состоянием вещества и тем, как меняются температура и давление с глубиной.

Чем глубже слой, тем выше давление и температура; при этом меняется и состояние вещества — от твёрдого к жидкому и снова к твёрдому.

Учебные обобщения геологических данных; диапазоны глубин — общепринятые справочные значения.

Земная кора — самая тонкая оболочка

I

Кора формирует поверхность и “карту” недр

Земная кора — это наружная твёрдая оболочка, на которой живут люди: материки и дно океанов. Хотя она выглядит “массивной”, по сравнению с Землёй она действительно тонкая.



2

Почему кора контрастна и полезна для наблюдений

Континентальная кора обычно толще океанической. Именно в коре встречаются горы, равнины, океаническое дно и значительная часть месторождений полезных ископаемых.

Континентальная и океаническая кора

Океаническая кора обновляется быстрее: она постоянно образуется в районах срединно-океанических хребтов и “уходит” в глубины при движении плит.

Различия по толщине, плотности и возрасту объясняют, почему одни участки океанов относительно моложе, а континенты — старше.

Обобщённые школьные справочные сведения о свойствах коры (без привязки к одному конкретному датасету).

Литосфера и плиты Земли

I

Литосфера включает земную кору и верхнюю часть мантии, которая остаётся твёрдой. Она образует “жёсткую оболочку”, по которой возможно движение.

2

Эта оболочка разделена на крупные литосферные плиты. Они перемещаются относительно друг друга: сталкиваются, расходятся и скользят.

3

Ниже литосферы находится астеносфера — более мягкая область. Плиты медленно “скользят” по ней, поэтому со временем меняются формы поверхности и положение материков.

Мантия — самый большой слой Земли



Огромный объём

Мантия простирается от границы с корой примерно до глубины 2900 км и занимает большую часть объёма Земли. Именно в ней происходят многие процессы, влияющие на поверхность.



Медленное “течение”

Вещество мантии твёрдое, но ведёт себя как очень вязкое тело. Поэтому оно может медленно перестраиваться в течение долгих временных промежутков.

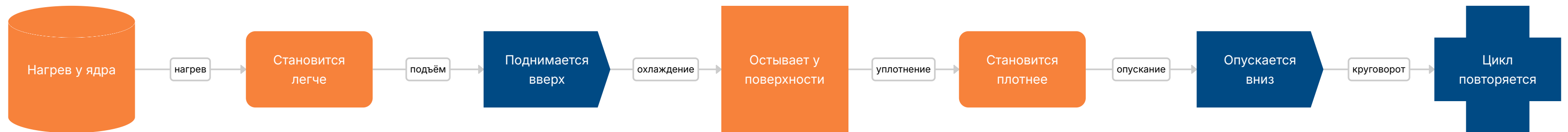


Связь с магмой и движением плит

Магма и движения вещества связаны с процессами в мантии и перемещением плит. Эти процессы помогают объяснить, откуда берётся вулканическая активность.

Как работают конвекционные потоки в мантии

Упрощённая схема круговорота вещества при нагреве и охлаждении



Верхняя, средняя и нижняя мантия

I

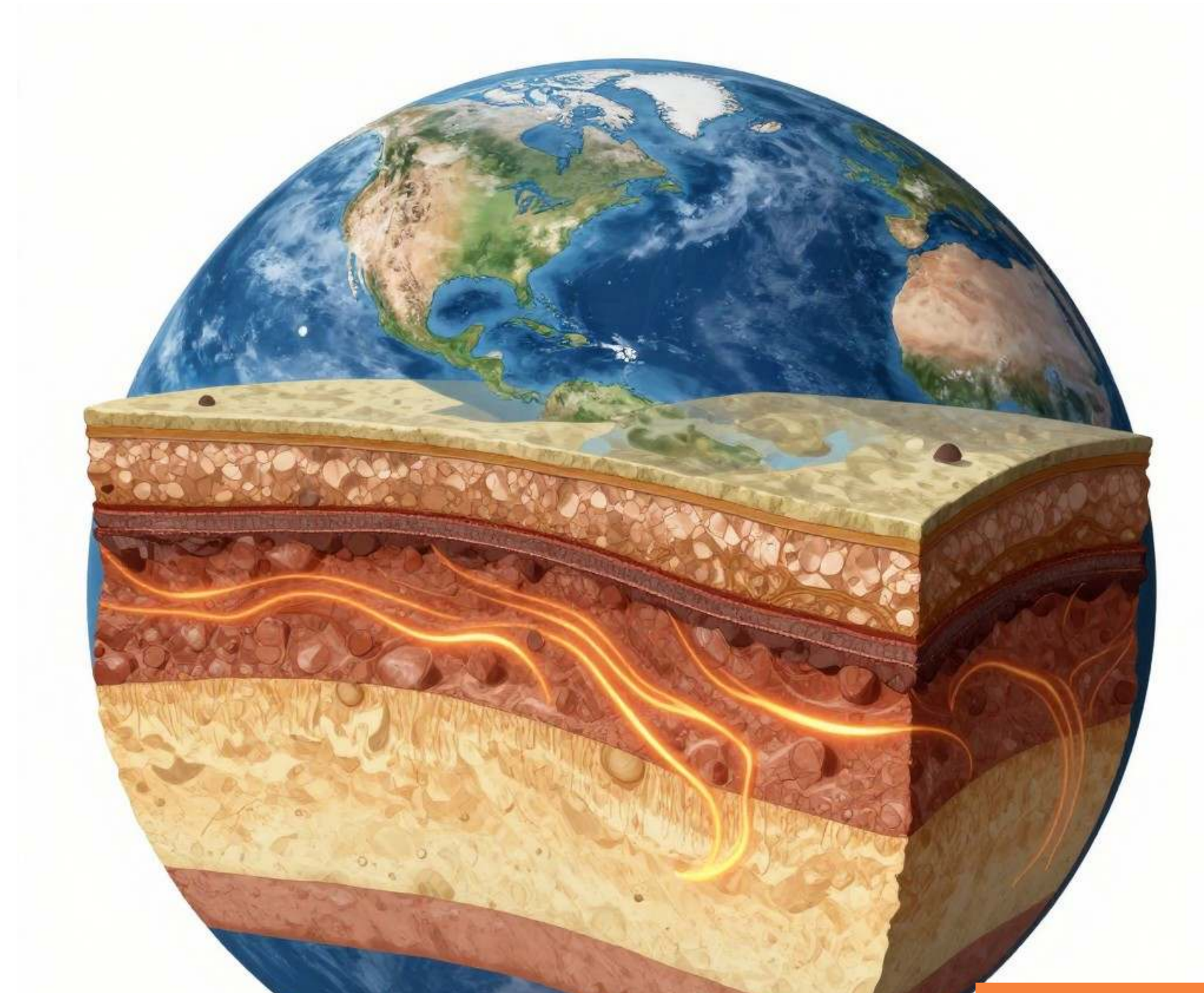
Верхняя мантия и связь с поверхностью

Верхняя мантия тесно связана с литосферой и астеносферой. Именно здесь особенно заметны процессы, которые влияют на движение плит и возникновение деформаций в земной коре.

2

Средняя и нижняя мантия: изменения из-за давления

Средняя и нижняя мантия продолжаются до глубины около 2900 км. На больших глубинах давление очень высокое, поэтому минералы меняют свои свойства, что отражается на поведении вещества.



Температура и давление растут с глубиной

С увеличением глубины растут и температура, и давление. На границе мантии и ядра условия уже экстремальные, а в центре Земли ещё сильнее, что удерживает внутреннее ядро твёрдым.

Линия показывает, что к центру Земли температура заметно увеличивается. Высокое давление объясняет, почему железо внутри остаётся твёрдым даже при очень высокой температуре.

Учебные обобщения по геофизике; оценочные значения температуры для глубин мантия—ядро и центра Земли.

Ядро Земли

I

Ядро располагается в центре Земли и состоит главным образом из железа и никеля. Благодаря большому количеству металла оно очень плотное и тяжёлое по сравнению с остальными слоями.

3

Внешнее ядро ближе к мантии, и именно там вещество находится в жидком состоянии. Движение жидкого железа важно для формирования магнитного поля Земли и связанных с ним явлений.

2

Ядро делят на две части: внешнее и внутреннее. Их различают не только по глубине, но и по агрегатному состоянию, а также по тому, как они влияют на процессы внутри планеты.

4

Внутреннее ядро лежит глубже и сохраняется твёрдым. Огромное давление в центре не даёт веществу полностью перейти в жидкое состояние, поэтому ядро остаётся «упрямым» даже при высоких температурах.

Внешнее и внутреннее ядро

Слои ядра отличаются глубиной, состоянием вещества и ролью в магнитных процессах. Внешнее ядро жидкое и подвижное, а внутреннее ядро твёрдое из-за давления.

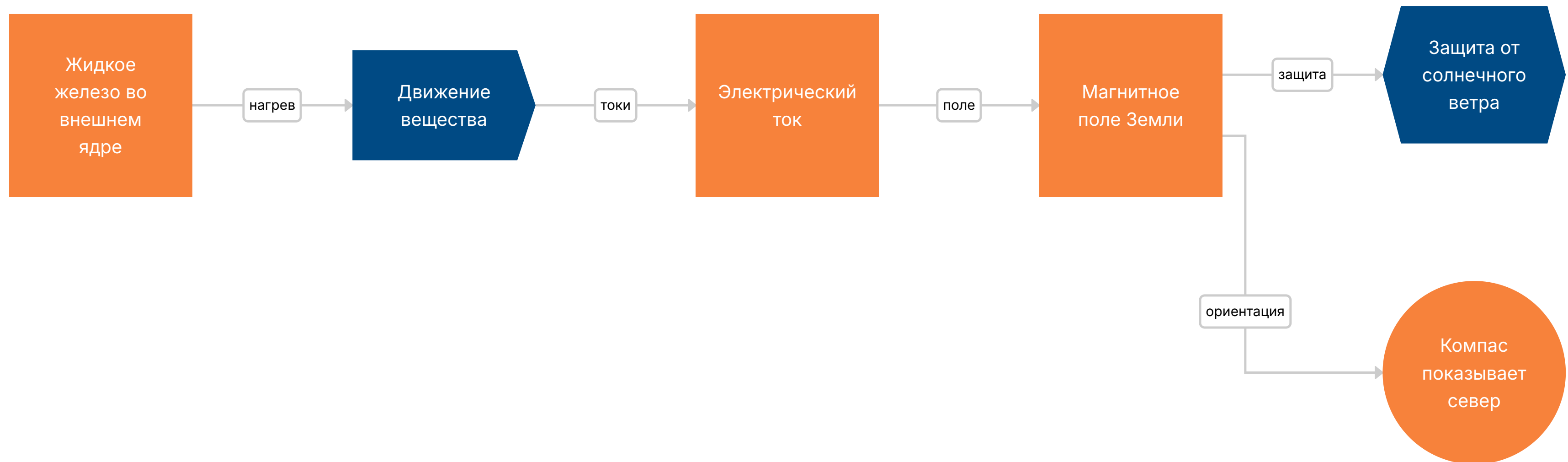
Переход между жидким и твёрдым слоями происходит на глубине примерно 5150 км, что согласуется с наблюдениями за прохождением сейсмических волн и объясняет особенности магнитного поля.

Обобщённые данные геофизики и сейсмологии (границы по глубине ядра).

Часть ядра	Глубина	Состояние
Внешнее ядро	2900–5150 км	Жидкое
Внутреннее ядро	5150–6371 км	Твёрдое

Как возникает магнитное поле Земли

Процесс геодинamo: движение проводящего вещества во внешнем ядре создаёт электрические токи и магнитное поле.



Откуда берётся тепло внутри Земли

I

Часть тепла Земля сохраняет ещё с момента своего образования: планета остывает постепенно. Поэтому даже без «новых» источников внутри остаётся заметный запас энергии.

2

Дополнительное тепло выделяется при распаде некоторых радиоактивных элементов. Эти процессы идут в глубинах и вносят вклад в общий тепловой баланс планеты.

3

Тепло помогает мантии медленно менять своё состояние и поддерживает движения вещества. В результате возникают условия для вулканизма и для движения литосферных плит.

Что показывают сейсмические волны

В лабораторном и полевом изучении используют реакции волн на границы слоёв: при переходе меняются скорость и направление. Увидеть это можно по сейсмограммам после землетрясений.

Совместное рассмотрение отражений, преломлений, скорости и «зоны тени» позволяет судить о физических свойствах недр. Особенно важно, что S-волны не проходят через жидкость.

Принципы сейсмологии: поведение Р- и S-волн и интерпретация наблюдений после землетрясений; обобщение учебных данных.

Как внутреннее строение влияет на поверхность Земли

I

Границы литосферных плит совпадают с зонами, где легче всего происходят разломы и подъёмы расплавленных пород. Поэтому в таких местах часто появляются горные хребты, вулканы и протяжённые разломы.

2

В Японии и Индонезии плиты сталкиваются и расходятся в сложной геометрии. Из-за постоянного «перетягивания» участков земной коры здесь регулярно происходят землетрясения.

3

Анды сформировались при столкновении плит: одна плита поддвигается под другую, и горные породы деформируются. Постепенно на поверхности растут высокие горы, а процессы сопровождаются землетрясениями.

4

Температурные и механические различия между слоями Земли влияют на скорость движений плит. Чем активнее обмен теплом и вещества в мантии, тем заметнее вулканизм и перестройки рельефа.

Модели Земли в учебнике и науке

Разрез «как у врачей»: видим слои внутри

В школьных задачниках Землю часто показывают в разрезе, где кору, мантию и ядро подписывают цветами. Такая модель помогает сравнить размеры слоёв и понять, почему внутренние границы отражают сейсмические волны.



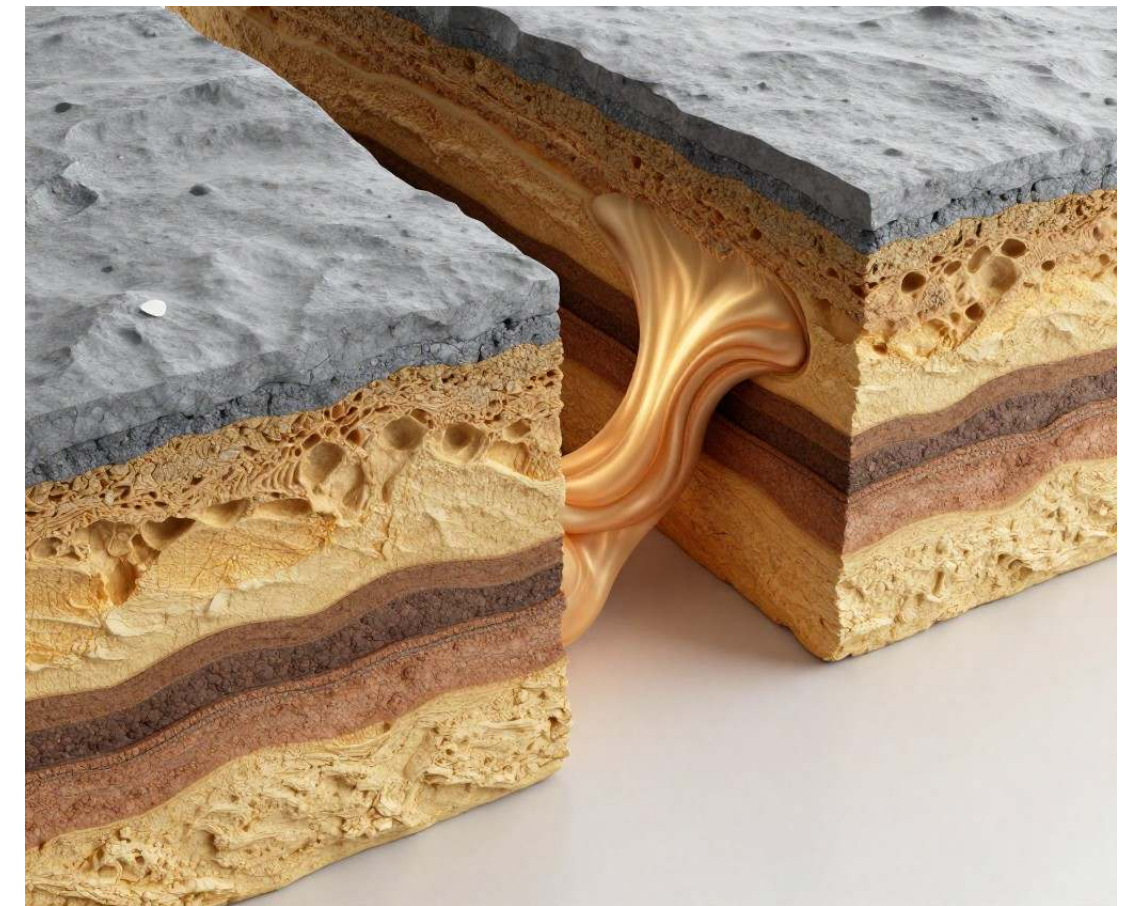
Шаровые модели: удобная картина для глубин

Иногда Землю изображают как набор вложенных «шариков» — подобно луковице. Это наглядно для расстояний от поверхности до границ слоёв и объясняет, почему с глубиной меняются давление и температура.



Схемы с подписями: как связи между слоями становятся понятными

Научные схемы показывают не только слои, но и связи: где поднимается вещество, а где оно опускается, и как это связано с движением плит. Благодаря подписям проще связать внутренние процессы с вулканами и землетрясениями.



6371 км

Это расстояние объясняет, почему внутренние слои изучают не прямым бурением, а сейсмическими и другими косвенными методами.

Центр Земли расположен примерно на 6371 км от поверхности, поэтому добраться до него практически невозможно. Даже самые глубокие скважины оказываются лишь у верхней части коры.

Обобщённые астрономо-геометрические данные о среднем радиусе Земли.

Три слоя — и целая «система» процессов

Земля состоит из коры, мантии и ядра, и каждый слой выполняет свою роль. Кора формирует поверхность, мантия поддерживает движение плит, а ядро создаёт тепло и магнитное поле. Благодаря этому возникают вулканы, землетрясения и горы.