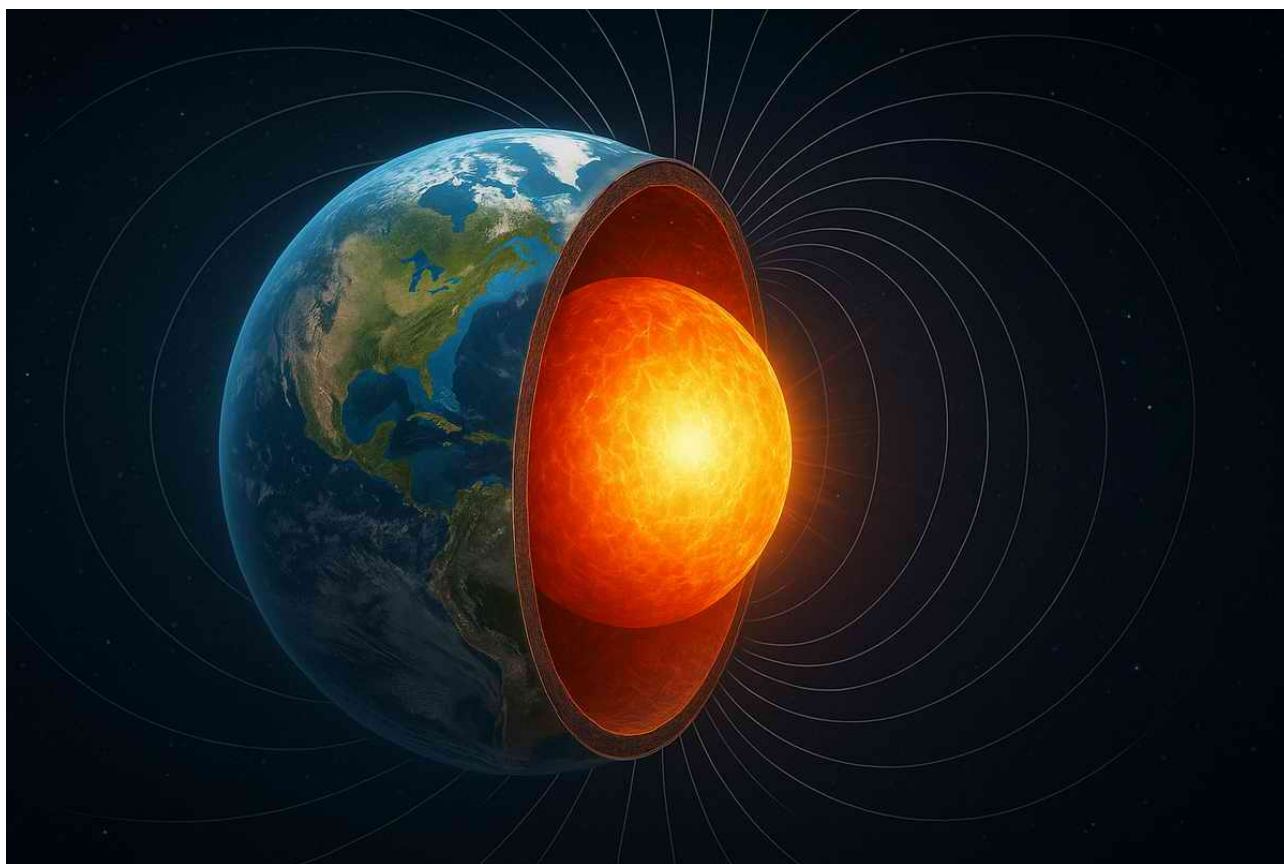


Учёные раскрыли роль углерода в формировании внутреннего ядра Земли



Дата публикации: 01.10.2025

В глубинах Земли скрыт сложный мир, недоступный для прямого наблюдения. Центр нашей планеты — это внутреннее ядро, плотная железосодержащая масса, окружённая жидким внешним ядром. Именно здесь рождается магнитное поле, защищающее Землю от солнечного ветра и космического излучения. Но как и когда твёрдое ядро начало формироваться, оставалось одной из главных загадок геофизики. Новое исследование учёных из Оксфорда, Лидса и Лондонского университетского колледжа показывает, что ключ к ответу скрыт в углероде.

Кристаллизация железа в ядре требует не только охлаждения, но и особого химического состава. Если бы ядро состояло из чистого железа, процесс замерзания начался бы лишь при переохлаждении на 800–1000 °С ниже температуры плавления. Такой сценарий невозможен: внутреннее ядро оказалось бы слишком большим, а магнитное поле Земли разрушилось бы задолго до настоящего времени. Модели показывали, что реальное переохлаждение не могло превысить 250 °С. Это означало, что в ядре должны

присутствовать примеси, изменяющие свойства железа.

Учёные проверили гипотезы о влиянии кремния, серы, кислорода и углерода. С помощью компьютерного моделирования в атомном масштабе, где учитывались условия давления и температуры на глубине более 5000 километров, они отследили зарождение кристаллических кластеров. Выяснилось, что кремний и сера замедляют процесс кристаллизации, требуя ещё большего переохлаждения. Кислород также не дал убедительного результата. Но углерод показал совершенно иную картину: он ускорял образование твёрдых частиц и мог вызвать замерзание внутреннего ядра при значительно меньшем понижении температуры.

Модели показали, что при содержании углерода около 2,4% процесс замерзания уже становился возможным, хотя и требовал сильного охлаждения. Но при 3,8% переохлаждение снижалось до ~ 266 °C, что соответствует реальным геологическим данным. Это означает, что углерод не просто второстепенный компонент ядра, а фундаментальный фактор его эволюции. Без него внутреннее ядро могло бы так и не появиться, а значит, Земля осталась бы без стабильного магнитного поля и защиты от космической радиации.

Этот вывод имеет важные следствия для понимания истории планеты. Замерзание ядра стало одной из причин существования геодинамо, поддерживающего магнитное поле, без которого жизнь на поверхности могла бы не возникнуть. Более того, исследование показывает, что химический состав ядра гораздо сложнее, чем предполагалось ранее. Наличие углерода, по-видимому, объясняет и меньшую плотность ядра по сравнению с чистым железом, что давно фиксируется сейсмологическими наблюдениями.

Интересно, что процесс замерзания в ядре происходил без «зародышей нуклеации» — мельчайших частиц, которые обычно способствуют кристаллизации в других системах. Это уникальное свойство показывает, что образование внутреннего ядра подчинялось особым законам физики, отличным от привычных процессов замерзания воды или минералов в земной коре.

Учёные до сих пор спорят о возрасте внутреннего ядра: одни считают, что оно начало формироваться более двух миллиардов лет назад, другие — что менее полумиллиарда. Новые данные о роли углерода позволяют лучше согласовать эти гипотезы с наблюдаемыми размерами ядра и его тепловой историей.

Открытие подчёркивает, что процессы на атомном уровне формируют глобальные явления планетарного масштаба. Химия углерода в ядре оказалась критическим фактором, определившим эволюцию Земли и возможность

существования жизни. В будущем подобные исследования помогут не только понять историю нашей планеты, но и объяснить, почему некоторые экзопланеты не обладают магнитным полем, а значит, лишены защиты от космических бурь.

Ссылка: «Ограничение состава ядра Земли по данным о зарождении внутреннего ядра» DOI: [10.1038/s41467-025-62841-4](https://doi.org/10.1038/s41467-025-62841-4).