

Ученые раскрыли новые данные о колебаниях уровня кислорода на ранней Земле.

Около 2,5 миллиарда лет назад на Земле произошло судьбоносное событие, известное как Великое кислородное событие или Кислородная катастрофа. В то время в атмосфере нашей планеты впервые начало значительно накапливаться свободный кислород. Этот процесс радикально изменил химический состав атмосферы и создал благоприятные условия для зарождения и эволюции более сложных, многоклеточных форм жизни.

Однако, как показывают новейшие исследования, проведенные учеными из Университета Юты, первоначальное накопление кислорода в атмосфере Земли было далеко не таким простым и линейным процессом, как предполагалось ранее. Изучив древние породы и минералы, ученые обнаружили доказательства, что уровень кислорода в атмосфере колебался, несколько раз достигая повышенных значений, а затем вновь резко снижаясь на протяжении сотен миллионов лет до того, как он окончательно стабилизировался. Эти открытия указывают на то, что Великое кислородное событие было сложным и продолжительным процессом с несколькими этапами накопления и снижения содержания кислорода в атмосфере, прежде чем он достиг современных концентраций.

Великое кислородное событие описывает переход от слабо восстановительной атмосферы и океанов Архея к насыщенной кислородом атмосфере и мелководным океанам раннего Палеопротерозоя. «Новые данные свидетельствуют о том, что начальное увеличение уровня кислорода в атмосфере Земли происходило неравномерно, с периодами увеличения и снижения, вплоть до 2,2 миллиарда лет назад», — говорит доктор Чадлин Острадер, исследователь из Университета Юты. «Наши данные подтверждают эту гипотезу и расширяют ее, показывая, что такие динамичные изменения происходили и в океане».

Анализируя стабильные изотопы таллия и элементы, чувствительные к окислительно-восстановительным процессам, доктор Острадер и его коллеги обнаружили доказательства колебаний уровней кислорода в морской воде, которые совпадали с изменениями содержания кислорода в атмосфере. Эти результаты помогают лучше понять сложные процессы, формировавшие уровни кислорода на Земле в критический период её истории, который подготовил почву для эволюции жизни.

В 2021 году исследователи обнаружили, что кислород не стал постоянной частью атмосферы до примерно 200 миллионов лет после начала глобального окисления, что намного позже, чем считалось ранее. Явное доказательство аноксичной атмосферы —

это наличие редких сернистых изотопных сигнатур в осадочных записях, которые практически отсутствовали до Великого кислородного события. Эти сигнатуры могли сохраняться только в условиях отсутствия атмосферного кислорода.

На протяжении первой половины существования Земли её атмосфера и океаны были практически лишены кислорода. Этот газ производился цианобактериями в океане, но быстро разрушался при взаимодействии с минералами и вулканическими газами. Ученые обнаружили, что редкие сернистые изотопные сигнатуры исчезают и затем вновь появляются, что указывает на многократные подъемы и спады уровня кислорода в атмосфере в период Великого кислородного события.

Для реконструкции уровней кислорода в древних океанах во время Великого кислородного события исследователи использовали инновационный метод, основанный на анализе стабильных изотопов таллия. Эти редкие элементы обладают уникальным свойством — их изотопный состав чувствителен к процессам, происходившим при захоронении оксидов марганца на древнем морском дне. Данный процесс требовал наличия растворенного кислорода в морской воде.

Ученые провели тщательный анализ изотопного состава таллия, извлеченного из древних морских сланцевых пород возрастом около 2,5 миллиарда лет. Результаты показали заметное обогащение этих пород легким изотопом таллия-203 по сравнению с его более тяжелым аналогом таллием-205. Такое изотопное фракционирование напрямую указывает на активное захоронение оксидов марганца в то далекое время, что, в свою очередь, свидетельствует о значительном накоплении растворенного кислорода в водах древних океанов в период Великого кислородного события.

Эти обогащения были обнаружены в тех же образцах, где отсутствовали редкие сернистые изотопные сигнатуры, что указывает на насыщение атмосферы кислородом. При повторном появлении сернистых изотопов обогащение таллием исчезает, подтверждая возврат аноксичных условий.

Эти открытия были подтверждены обогащениями элементов, чувствительных к окислительно-восстановительным процессам, традиционным инструментом для отслеживания изменений древнего кислорода. Исследования показали, что атмосфера и океан становились насыщенными кислородом и возвращались к аноксичным условиям одновременно.

Эти результаты были опубликованы в журнале Nature.