

Редкий металл помог зарождению жизни: ученые выяснили, как молибден изменил раннюю Землю



Дата публикации: 06.05.2026

Современная жизнь невозможна без множества химических элементов, участвующих в работе клеток и биологических процессов. Однако новое исследование показывает, что еще более трех миллиардов лет назад древнейшие организмы уже зависели от одного крайне редкого металла — молибдена. Это открытие меняет представления ученых о ранней эволюции жизни и происхождении сложных метаболических систем на молодой Земле.

Международная группа исследователей, работавшая при поддержке NASA, пришла к выводу, что молибден использовался живыми организмами значительно раньше, чем считалось ранее. Результаты исследования были опубликованы в журнале Nature Communications.

Сегодня молибден играет критически важную роль практически во всех экосистемах планеты. Этот металл входит в состав ферментов, отвечающих за важнейшие биохимические реакции, связанные с обменом углерода, азота и серы. Без молибденсодержащих ферментов многие процессы в клетках

протекали бы слишком медленно для поддержания жизни.

Особенно важен молибден для азотного цикла — одного из фундаментальных биогеохимических процессов Земли. Некоторые ферменты с молибденом позволяют микроорганизмам фиксировать атмосферный азот и превращать его в формы, пригодные для использования живыми организмами.

Долгое время ученые считали, что активное использование молибдена стало возможным только после Великого окислительного события — периода около 2,45 миллиарда лет назад, когда содержание кислорода в атмосфере резко выросло благодаря развитию фотосинтеза.

Рост уровня кислорода изменил химический состав океанов и сделал молибден значительно более доступным. Поэтому многие исследователи предполагали, что ранняя жизнь не могла широко использовать этот металл из-за его крайне низкой концентрации в древней морской воде.

Однако новое исследование опровергает эту гипотезу. Команда ученых реконструировала историю использования молибдена, проанализировав эволюцию ферментов и распределение молибденсодержащих систем в древе жизни. Результаты показали, что древние микроорганизмы начали использовать молибден уже 3,7–3,1 миллиарда лет назад — задолго до насыщения атмосферы кислородом.

Это означает, что первые формы жизни сумели адаптироваться к экстремально бедной металлами среде и научились эффективно извлекать даже минимальные количества редких элементов.

Особенно интересным оказался пересмотр старой теории «сначала вольфрам, потом молибден». Ранее считалось, что древнейшие организмы изначально использовали вольфрам — химически похожий металл, который до сих пор применяется некоторыми экстремофильными микроорганизмами.

Однако новое исследование показало, что молибден и вольфрам, вероятно, использовались параллельно уже на ранних этапах эволюции жизни.

По мнению ученых, молибден мог оказаться особенно ценным из-за своей высокой каталитической эффективности. Этот металл способен поддерживать широкий спектр химических реакций при различных окислительно-восстановительных условиях, что делало его чрезвычайно полезным для древних клеток.

Исследователи предполагают, что даже при крайне низких концентрациях преимущества молибдена были настолько значительными, что жизнь

«научилась» добывать и использовать его несмотря на дефицит.

Важную роль в этом могли сыграть гидротермальные источники на дне древних океанов. Именно такие зоны считаются одними из главных кандидатов на роль колыбели жизни на Земле.

Гидротермальные системы способны концентрировать редкие элементы и микроэлементы, включая железо, никель, медь, кобальт, цинк, молибден и вольфрам. Вокруг подводных источников создавались локальные химические среды, богатые веществами, необходимыми для ранней биохимии.

Ученые считают, что именно в подобных нишах древние микроорганизмы могли получать доступ к молибдену даже тогда, когда его содержание в океане в целом оставалось минимальным.

Ключевые элементы древней биохимии: молибден, вольфрам, железо, никель, кобальт, медь, марганец, ванадий, цинк.

Исследование имеет большое значение не только для понимания истории Земли, но и для астробиологии — науки о возможности существования жизни за пределами нашей планеты.

Современные поиски внеземной жизни часто ориентируются на условия, похожие на современную Землю. Однако результаты работы показывают, что жизнь может адаптироваться к средам с совершенно иным химическим составом и использовать крайне редкие элементы для поддержания биологических процессов.

Это означает, что потенциально обитаемые миры могут выглядеть гораздо разнообразнее, чем предполагалось ранее.

Ученые подчеркивают, что для возникновения жизни важна не только вода и органические молекулы, но и доступность определенных металлов, способных участвовать в биохимическом катализе.

Особое внимание исследователи уделяют так называемым окислительно-восстановительным условиям — химическим процессам переноса электронов, лежащим в основе энергетического обмена всех живых систем.

По сути, история молибдена показывает, насколько тесно эволюция жизни связана с геологией планеты. Изменение химического состава океанов, атмосферы и вулканической активности напрямую влияло на возможности развития древних организмов.

Современные исследования происхождения жизни все чаще рассматривают

Землю как сложную систему взаимодействия геологических, химических и биологических процессов.

Новая работа также подчеркивает удивительную способность жизни использовать даже крайне ограниченные ресурсы. Несмотря на дефицит молибдена, древние микроорганизмы сумели превратить этот металл в основу важнейших биохимических механизмов.

По мнению исследователей, подобные открытия помогают лучше понять не только прошлое Земли, но и то, какие формы жизни могут существовать на других планетах с совершенно иной историей атмосферы, океанов и химического состава.

Ученые считают, что дальнейшее изучение древних ферментов и эволюции металлов в биохимии позволит глубже понять фундаментальные механизмы зарождения жизни во Вселенной.

Ссылка: «Биологическое использование молибдена и вольфрама восходит к 3,4 миллиардам лет назад» DOI: [10.1038/s41467-026-72133-0](https://doi.org/10.1038/s41467-026-72133-0).