

Перхлораты на Марсе



Исследовательская группа, в которую входят ученые Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, опубликовала в журнале *Icarus* работу «Perchlorate radiolysis in silicate matrices and ice on Mars and Europa».

В статье экспериментально показано, как космическое излучение разрушает соли перхлоратов в разных средах, имитирующих марсианский реголит и ледяную кору Европы, и что это означает для сохранности органических молекул и поиска следов жизни за пределами Земли.

Цель и постановка задачи

Перхлораты — соли хлорной кислоты — хорошо известны как важный компонент марсианского грунта и предполагаемой поверхности Европы; они одновременно являются сильными окислителями и потенциальным ресурсом для микробной жизни. Авторы ставят задачу количественно оценить, с какой скоростью перхлораты разрушаются под действием ионизирующего излучения в реалистичных матрицах (силикаты, лед), а не в виде чистых солей. Это позволяет уточнить модели долговременной сохранности перхлоратов и органики в верхних слоях Марса и Европы и лучше планировать астробиологические миссии.

Эксперимент: матрицы и облучение

В качестве модельной системы использовали натриевый перхлорат NaClO_4 , который помещали в четыре типа матриц:

- чистый безводный NaClO_4 ;
- 30%-й водный раствор NaClO_4 ;
- сухую смесь кварцевого песка (90% масс.) и NaClO_4 (10% масс.);
- смесь кварцевого песка (70% масс.) с 30%-м раствором NaClO_4 .

Образцы охлаждали до 133 К (около $-140\text{ }^\circ\text{C}$), переводили в вакуум (давление порядка 10^{-2} мбар) и облучали пучком электронов энергии $\sim 0,9$ МэВ на ускорителе RTE-1V Научно-технологического комплекса ядерной физики Политеха, что моделирует воздействие вторичных электронов космических лучей в верхнем метре реголита Марса и в приповерхностном льду Европы. Поглощенные дозы составляли 7,6; 12 и 19,6 МГр; по изменению концентраций ионных форм рассчитывали радиационно-химические выходы (G-значения) — число молекул перхлората, разрушенных на 100 эВ поглощенной энергии.

Ключевые результаты

Сильная зависимость от матрицы. В сухой смеси кварца и перхлората при максимальной дозе разрушалось до $\sim 15\text{--}30\%$ NaClO_4 , G-значения достигали $\approx 1,1\text{--}1,3$ молекулы/100 эВ. Для чистого перхлората распад был заметно ниже ($\approx 7\text{--}12\%$), а G-значения уменьшались с ростом дозы до $\approx 0,46$ молекул/100 эВ.

Подавление радиолиза водой. В ледяных системах (раствор и смесь с раствором) доля разрушенного перхлората не превышала $\approx 5,5\%$; присутствие воды приводило к трёхкратному снижению степени радиолиза по сравнению с сухой силикатной смесью. Это объясняют тем, что вода и продукты ее радиолиза экранируют перхлорат от части энергии.

Основным продуктом радиолиза NaClO_4 оказался хлорат ClO_3^- , тогда как хлорит и хлорид образовывались в пренебрежимо малых количествах. Это уточняет схему превращений хлорсодержащих окислителей в поверхностных слоях планетных тел.

Сопоставление с предыдущими оценками.

Полученные G-значения оказались существенно ниже некоторых ранних лабораторных данных для чистых солей, что подчеркивает важность учета минералогии и фазового состояния воды при экстраполяции радиационно-химических процессов на реальные планетные условия.

Результаты показывают, что:

- в сухом реголите перхлораты разрушаются относительно быстро, сопровождаясь образованием дополнительных окислителей, что снижает шансы на долговременную сохранность органических молекул вблизи поверхности;
- в ледяных и увлажненных зонах скорость радиолиза ниже, а значит, именно такие области на Марсе и в ледяной коре Европы потенциально более благоприятны для накопления

и сохранения биомаркеров.

Модели, построенные на основе полученных G-значений, позволяют оценивать характерные времена жизни перхлоратов и органики на разных глубинах и под разными уровнями радиационного фона, что важно при выборе приоритетных зон бурения и отбора проб для будущих миссий.

Ученые Политеха отвечали за проведение облучательных экспериментов на электронном ускорителе RTE-1V и моделирование радиационных условий, соответствующих поверхности Марса и ледяной коре Европы. Благодаря инфраструктуре ядерно-физического комплекса Политеха в работе удалось реализовать контролируемые дозы и спектры электронов, приближенные к реальным условиям космической радиации, что усилило прикладную ценность полученных данных для планетологии и астробиологии.

Исследования поддержаны грантом РФФ.