

Радиационное окружение и дозовые нагрузки на Луне

Михаил Игоревич Добындэ

University of Science and Technology of China

Спустя почти 50 лет после миссий Аполлон, исследование Луны, включающее посадку и деятельность на поверхности, снова находится на переднем крае исследований космоса. В дополнение к автоматическим посадочным модулям, таким как Chang'E4 и Chandrayaan-3, первый космический корабль Artemis успешно вернулся на Землю 11 декабря 2022 года после 25-дневного пролета к Луне. Ожидается, что предстоящие миссии будут пилотируемыми, а их конечной целью будет возвращение людей на поверхность Луны. Создание постоянной базы на Луне, вероятно, станет следующим шагом в исследовании космоса, что ставит на повестку вопросы безопасности космонавтов. Одним из неизбежных факторов космического полета является воздействие космической радиации, которая может нанести вред здоровью, сократить продолжительность жизни в послеполетный период и снизить общее качество жизни. Рак и другие заболевания, вызванные радиацией, входят в число потенциальных рисков, поэтому крайне важно минимизировать облучение космонавтов и удерживать его в допустимых пределах.

Для решения этой проблемы мы разработали модель лунной радиационного окружения и дозовых нагрузок на Луне — модель REDMoon — и проанализировали различные сценарии для создания радиационно-безопасных протоколов пребывания людей на Луне в течение последних 24 лет. Последние результаты были недавно опубликованы в журнале *Nature Astronomy* (<https://doi.org/10.1038/s41550-024-02287-8>)

На поверхности Луны космонавты не защищены плотной атмосферой или магнитным полем, как на Земле, что делает их подверженными прямому воздействию галактических космических лучей и солнечных частиц. Кроме того, они подвергаются значительному воздействию вторичной радиации, возникающей при взаимодействии космической радиации с лунным грунтом. Наши расчеты показывают, что вторичная радиация составляет более четверти от общего радиационного воздействия на поверхности, и этот вклад увеличивается до более чем 90% на глубине полуметра. Общее радиационное воздействие достигает пика на глубине 30-40 см и может превышать уровни на поверхности.

Большая часть радиационного окружения под поверхностью Луны состоит из нейтронов, которые оказывают существенное биологическое воздействие, поскольку могут проникать глубоко в тело и вызывать значительные повреждения радиочувствительных органов.

Наши исследования показывают, что общее правило радиационной защиты после глубины в полметра — «чем глубже, тем лучше». Однако на глубине более 3 метров радиационное воздействие остается в пределах, приемлемых для атомной промышленности, в течение десятилетий, поэтому более глубокое расположение баз не дает существенных преимуществ. На глубине около полуметра воздействие сопоставимо с воздействием на поверхности, хотя поверхностное излучение менее вредно, чем на глубине 30-40 см.

Прогнозируемое количество экипажей, задействованных в случае расположения базы на поверхности, составляет около 15 человек в течение 22 лет, при этом ротация экипажей происходит каждые 2-6 месяцев. В будущих исследованиях мы планируем изучить реалистичные конструкции баз, оптимизировать защитные материалы и проанализировать деятельность космонавтов как внутри, так и за пределами базы.