

УДК 53.09;57.04;577.346

УСТОЙЧИВОСТЬ ФЕРМЕНТОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ РЕГОЛИТА МАРСА

© 2021 г. В. С. Чепцов^{a, b, *}, А. А. Белов^a, Е. А. Воробьева^a, А. К. Павлов^c, Д. А. Цурков^{c, d},
Д. А. Фролов^{c, d}, В. Н. Ломасов^d, А. Е. Чумиков^b

^aМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^bИнститут космических исследований РАН, Москва, Россия

^cФизико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

^dСанкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: cheptcov.vladimir@gmail.com

Поступила в редакцию 30.12.2020 г.

После доработки 24.03.2021 г.

Принята к публикации 06.04.2021 г.

Одним из основных факторов, разрушающих биомолекулы во внеземных условиях, является ионизирующее излучение. Эффекты воздействия радиации зависят от условий (давление, температура, присутствие различных химических веществ) облучения. Нами исследована устойчивость ферментов (каталазы и дегидрогеназы) в почве при облучении ускоренными электронами в дозах до 100 кГр при низком давлении (0.01 торр) и низкой температуре (–130°C). После воздействия дозы 100 кГр каталазная активность сохранилась на контрольном уровне, дегидрогеназная активность снизилась в 5 раз. Результаты исследования позволяют предполагать возможность длительного сохранения активных ферментов в марсианском реголите до их инактивации вследствие накопления радиационных повреждений. Принимая во внимание интенсивность ионизирующего излучения в поверхностном слое реголита Марса, мы считаем, что снижение дегидрогеназной активности в 10, 100 и 1000 раз от исходного уровня могло бы произойти в течение 1.9, 3.8 и 5.7 млн лет соответственно, каталаза же могла бы сохранять активность в течение еще более длительных периодов. Полученные данные свидетельствуют в пользу возможности детектирования ферментативной активности посадочными аппаратами в рамках планируемых космических миссий.

Ключевые слова: Марс, биомаркеры, астробиология, почва, ферментативная активность, ускоренные электроны

DOI: 10.31857/S0320930X21040022

ВВЕДЕНИЕ

Исследование устойчивости различных биомолекул (многие из которых рассматриваются в качестве биомаркеров) к воздействию экстремальных факторов внеземного пространства имеет большое значение для планирования и подготовки космических миссий. Такие исследования позволяют выявить типы молекул, наиболее устойчивых в космических условиях, оценить длительность их сохранения, обнаружить трансформации, которые они претерпевают под действием тех или иных факторов (Blanco и др., 2018; deVera, 2020). Это способствует определению перспективных для изучения космические тел мест посадки, геологических структур и типов отложений, созданию необходимого инструментария и адаптации аналитических методик, а также корректной интерпретации данных, полученных в ходе космиче-

ских миссий (Blanco и др., 2018; Röling и др., 2015; deVera, 2020; Poch и др., 2014).

В качестве основных факторов, разрушающих биомолекулы в условиях космоса, рассматриваются ионизирующая радиация и ультрафиолетовое излучение (Blanco и др., 2018; Fornago и др., 2018; Poch и др., 2014). Однако ультрафиолетовое излучение поглощается, как правило, несколькими миллиметрами твердого вещества (Mancinelli, Klovstad, 2000; Cockell и др., 2005; Schuerger и др., 2012). Потому главным фактором, лимитирующим сохранение биомаркеров внутри метеоритов, в реголите и льду ряда планет и спутников на глубинах более нескольких миллиметров, является ионизирующее излучение (Pavlov и др., 2002; 2012; Kminek, Bada, 2006).

При исследовании устойчивости биомолекул к воздействию ионизирующей радиации изучаются, как правило, чистые химические вещества