

## **Цикл работ: «Физические калибровки и численное моделирование космических экспериментов планируемых на борту будущих посадочных миссий к Луне, Марсу и Венере»**

Авторы: М. Л. Литвак, И. Г. Митрофанов, А.А. Вострухин, Д.В. Головин, А.С. Козырев, А. Б., Санин.

### **Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:**

В настоящее время в завершающую стадию разработки вступила подготовка нескольких ключевых научных миссий посвященных исследованию планет Солнечной системы. В этот список прежде всего входят российские лунные миссии Луна-Глоб и Луна-Ресурс, российско-европейская посадочная миссия ЭкзоМарс, а также следующий тяжелый марсоход Марс-2020 разрабатываемый НАСА. Кроме этого, международное научное сообщество детально обсуждает научные задачи и техническую реализацию будущего посадочного аппарата на поверхность Венеры. Во всех этих случаях одной из приоритетных научных задач является изучение химического состава приповерхностного грунта, его структуры, поиск воды/водяного льда и летучих соединений. Для этого на борту большинства планируемых миссий установлены гамма и нейтронные спектрометры, позволяющие решать такие задачи.

### **Конкретная решаемая в работе задача и её значение:**

Представленный цикл работ посвящен описанию важных особенностей методики гамма и нейтронной спектроскопии применяемой для определения элементного состава поверхности планет с борта посадочных миссий, содержит результаты численного моделирования космического эксперимента, а также наземных калибровок и полевых испытаний прототипов и летных образцов приборов, разрабатываемых в ИКИ РАН и отобранных для исследовательских миссий на Луну, Марс и Венеру.

### **Полученные результаты и их значимость:**

1. Представлены основные научные задачи космического эксперимента АДРОН-РМ (готовится в ИКИ РАН) планируемого на борту марсохода ЭкзоМарс 2020. С помощью численного расчета показаны возможности научной аппаратуры при определении среднего содержания воды и хлора в марсианском грунте вдоль трассы движения марсохода.

I.G. Mitrofanov, M.L. Litvak, S.Y. Nikiforov, I. Jun, Y.I. Bobrovniksky, D.V. Golovin, A.S. Grebennikov, F.S. Fedosov, A.S. Kozыrev, D.I. Lisov, A.V. Malakhov, M.I. Mokrousov, A.B. Sanin, V.N. Shvetsov, G.N. Timoshenko, T.M. Tomilina, V.I. Tret'yakov, and A.A. Vostrukhin, THE ADRON-RM INSTRUMENT ONBOARD THE EXOMARS ROVER, ASTROBIOLOGY, 17, DOI: 10.1089/ast.2016.1566, 2017

**2.** На экспериментальном стенде в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) были воссозданы основные условия измерений российского прибора ДАН на борту марсохода Куриосити и получены оценки его чувствительности при поиске подповерхностной воды на разной глубине. Измерения сопровождались численным расчетом космического эксперимента, что позволило сопоставить и верифицировать численную модель измерений по экспериментальным данным.

Shvetsov, V. N.; Dubasov, P. V.; Golovin, D. V.; Kozyrev, A. S.; Krylov, A. R.; Krylov, V. A.; Litvak, M. L.; Malakhov, A. V.; Mitrofanov, I. G.; Mokrousov, M. I.; Sanin, A. B.; Timoshenko, G. N.; Vostrukhin, A. A.; Zontikov, A. O., GROUND TESTS OF THE DYNAMIC ALBEDO OF NEUTRON INSTRUMENT OPERATION IN THE PASSIVE MODE WITH A MARTIAN SOIL MODEL, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 861, 1-6, 2017

**3.** На экспериментальном стенде в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) был смоделирован примерный химсостав венерианского грунта и проведены измерения с прототипом активного гамма спектрометра (на инновационном сцинтилляционном детекторе с кристаллом  $CeBr_3$ ) и имитацией толстой оболочки посадочного аппарата, чтобы оценить точность измерений содержания основных породообразующих элементов O, Na, Al, Mg, K, Fe в толще приповерхностного слоя грунта под посадочным аппаратом. Было показано, что можно обеспечить точность измерений 1-10% в зависимости от конкретного химического элемента, что соответствует научным задачам будущей миссии.

M.L. Litvak, A.B. Sanin, D.V. Golovin, I. Jun, I.G. Mitrofanov, V.N. Shvetsov, G.N. Timoshenko, A.A. Vostrukhin, Ground tests with prototype of  $CeBr_3$  ACTIVE GAMMA RAY SPECTROMETER PROPOSED FOR FUTURE VENUS SURFACE MISSIONS, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 848, 9-18, 2017

**4.** На полигонах вечной мерзлоты Института мерзлотоведения РАН (г. Якутск) были проведены первые полевые испытания летного образца активного гамма спектрометра АДРОН, устанавливаемого на будущие лунные и марсианские посадочные миссии, и получены оценки его чувствительности при определении содержания воды/водяного льда в сухих и ледонасыщенных грунтах.

Litvak, M. L.; Golovin, D. V.; Kolesnikov, A. B.; Vostrukhin, A. A.; Djachkova, M. V.; Kozyrev, A. S.; Mitrofanov, I. G.; Mokrousov, M. I.; Sanin, A. B., GROUND-BASED MEASUREMENTS WITH THE ADRON ACTIVE GAMMA-RAY AND NEUTRON SPECTROMETER DESIGNED FOR LUNAR AND MARTIAN LANDING MISSIONS, Solar System Research, 51, 171-184, 2017

**5.** На экспериментальном стенде в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) были проведены комплексные измерения, позволяющие сопоставить возможности различных типов активных гамма спектрометров (использующих различные типы

нейтронных генераторов) применительно к определению химсостава планетного грунта в условиях космического эксперимента.

Литвак М.Л., Вострухин А.А., Головин Д. В., Дубасов П.В., Зонтиков А.О., Козырев А.С., Крылов А.Р., Крылов В.А., Митрофанов И.Г., Мокроусов М.И., Репкин А.Н., Тимошенко Г.Н., Удовиченко К.В., Швецов В.Н., ИСПЫТАНИЯ ПРОТОТИПА КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ ОИЯИ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ НЕЙТРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ, Письма в ЭЧАЯ, Т14, №4(209), 398-412, 2017