



ПРОГРАММА XX НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

«НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ – 2022»

Нижний Новгород, 7 – 13 ноября 2022 г.

Поиск воды на Луне и Марсе. Освоение лунных ресурсов.

М.Л. Литвак (ИКИ РАН)

ЗАЧЕМ ИСКАТЬ ВОДУ НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ?

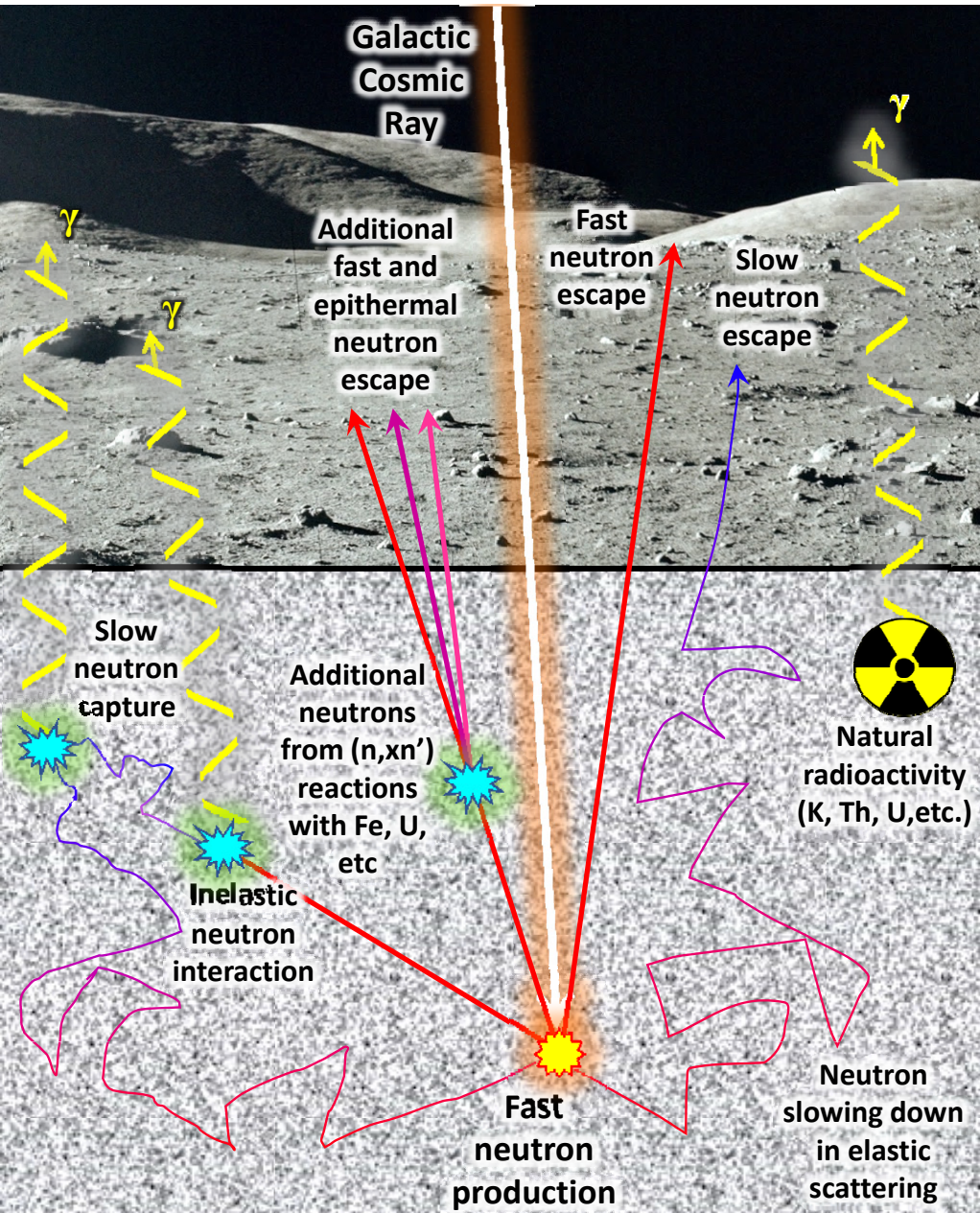
Без воды основные жизненные процессы невозможны. Ни одна основная функция организма не может происходить без воды.

Поэтому космические миссии, исследующие Солнечную систему, занимаются поиском воды/водяного льда, чтобы найти места, где могла зародиться жизнь.

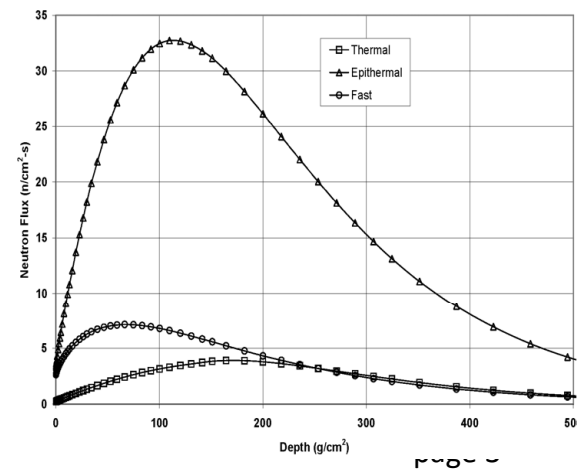
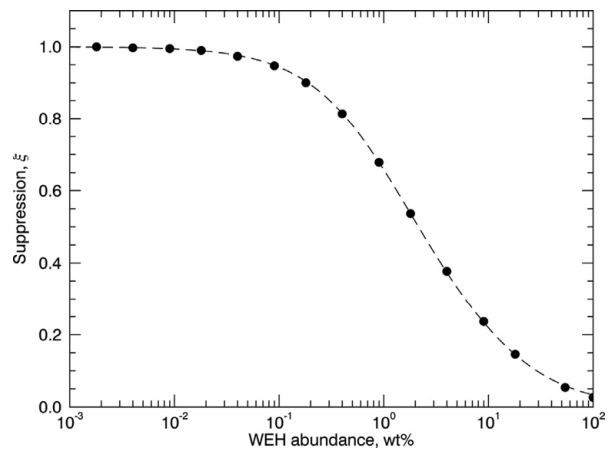
Освоение других планет потребует использование локальных ресурсов для обеспечения жизни колонистов. А это прежде всего вода, необходимая для различных нужд.

Получается мы ищем воду в космосе, чтобы найти прошлую и обеспечить будущую жизнь





Поиск воды с помощью нейтронных спектрометров

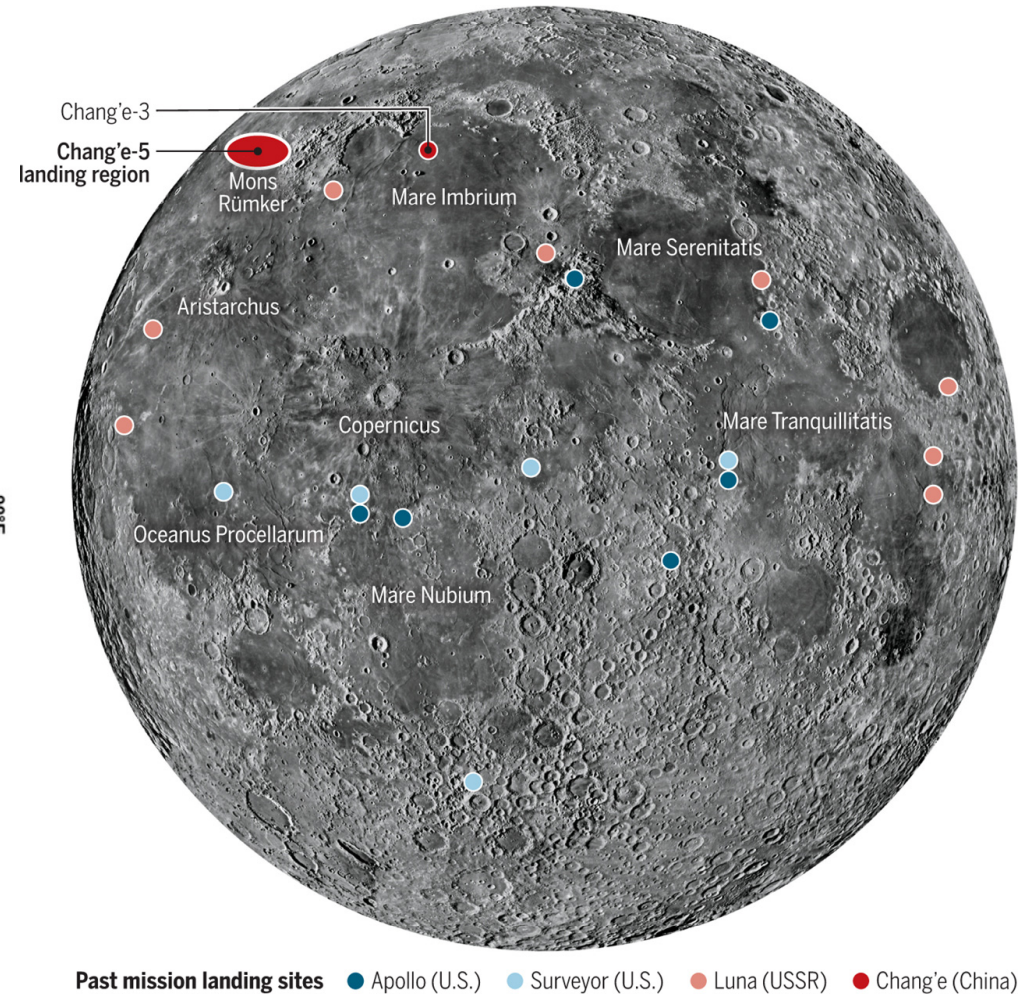
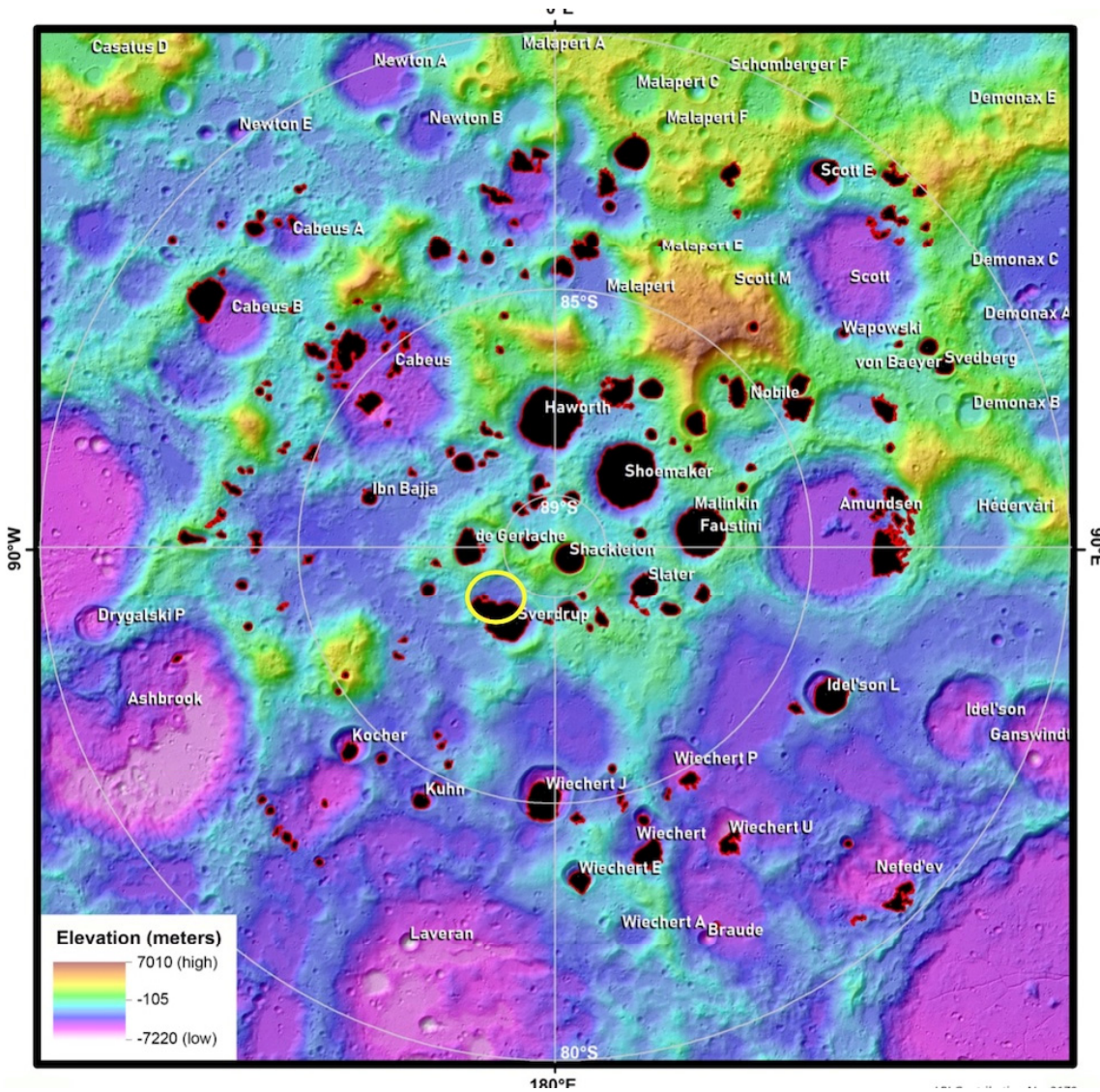




Луна

Полярные области Луны представляют собой идеальные кладовые реликтового вещества (в том числе водяной лед), принесенного в течение миллиардов лет кометами и астероидами и хранящего историю Солнечной системы.

Вечно затененные области на полюсах Луны: хранилища водяного льда?



Обнаружение воды на на полюсах Луны: где/как/когда она образовалась?

Источники поступления
водяного льда на Луне:

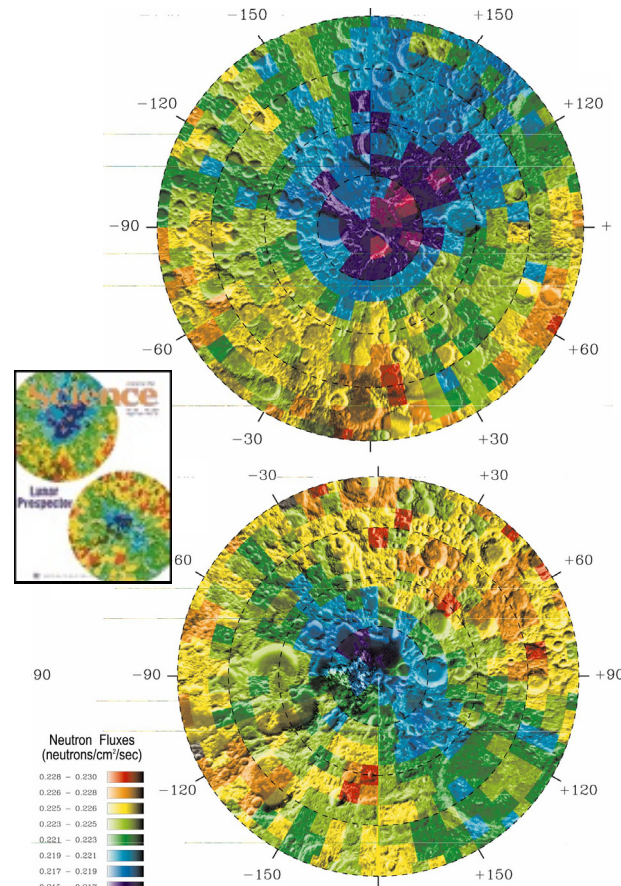
1. Столкновения комет и астероидов с Луной, или экзогенная вода

2. Взаимодействие протонов солнечного ветра с поверхностью Луны

3. Вода образовавшаяся одновременно с Луной, или эндогенная вода

1998

Распределение водорода по данным
нейтронного спектрометра на борту
Lunar Prospector (NASA)

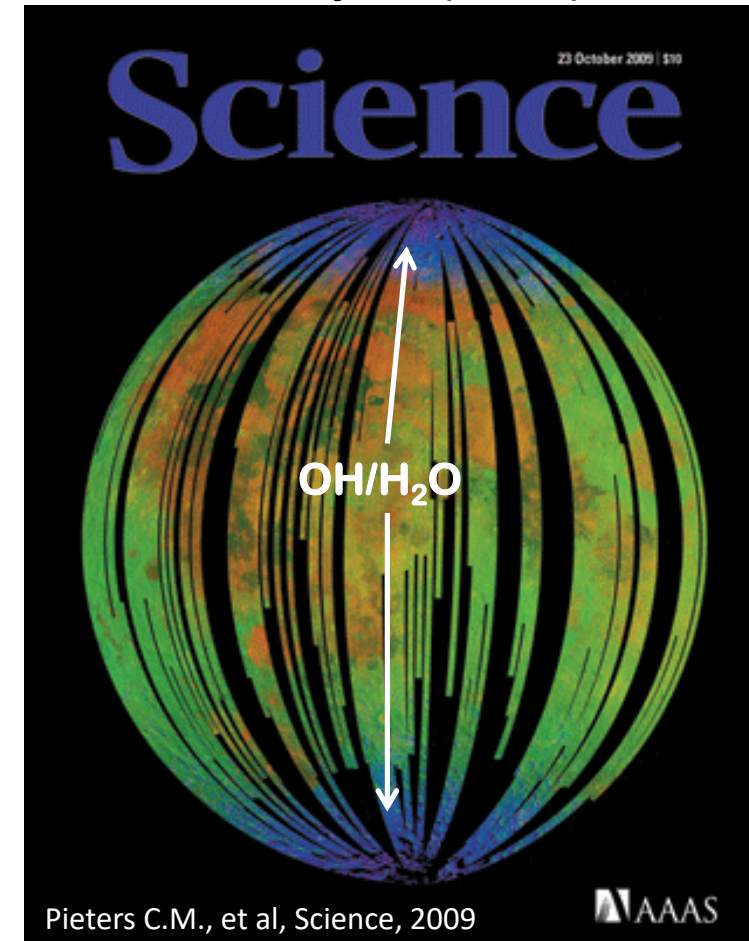


Feldman et al, Science, 1998

South Pole <-70°

2009

Распределение OH/H₂O по данным
эксперимента M³ (USA) на борту
Chandrayan-1 (Индия)

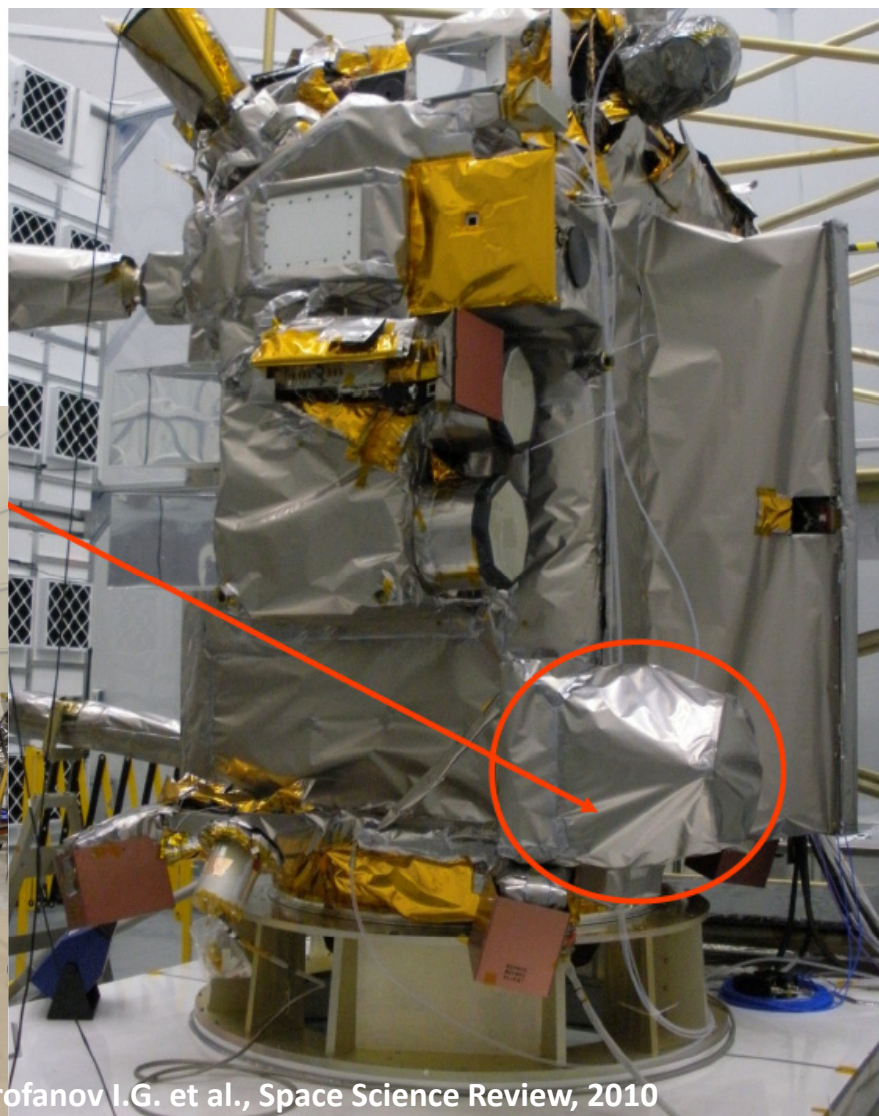
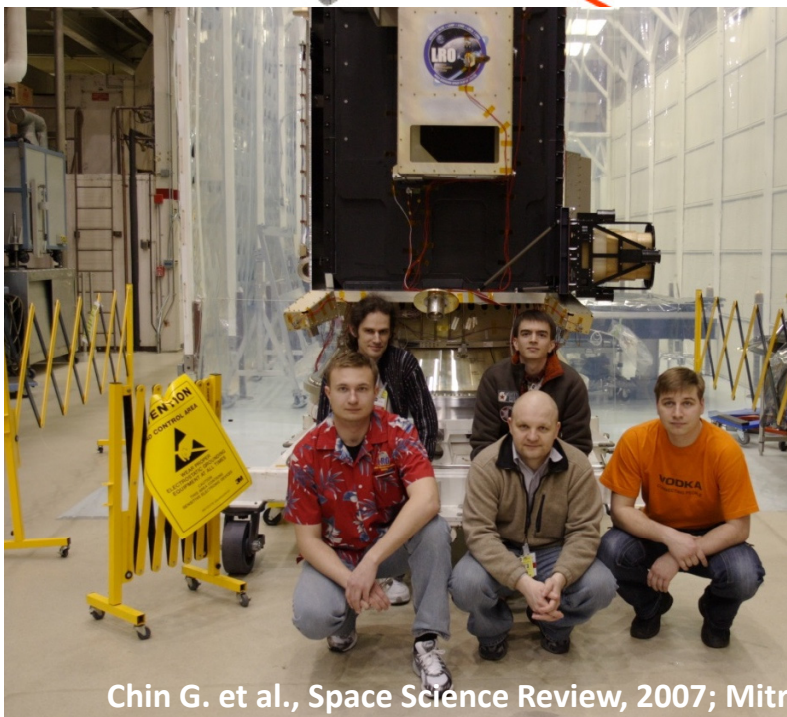
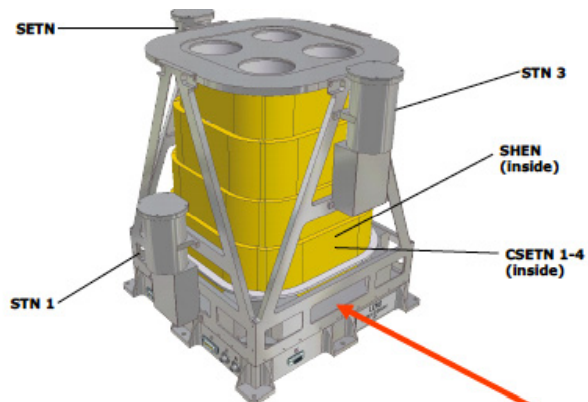


Pieters C.M., et al, Science, 2009

AAAS

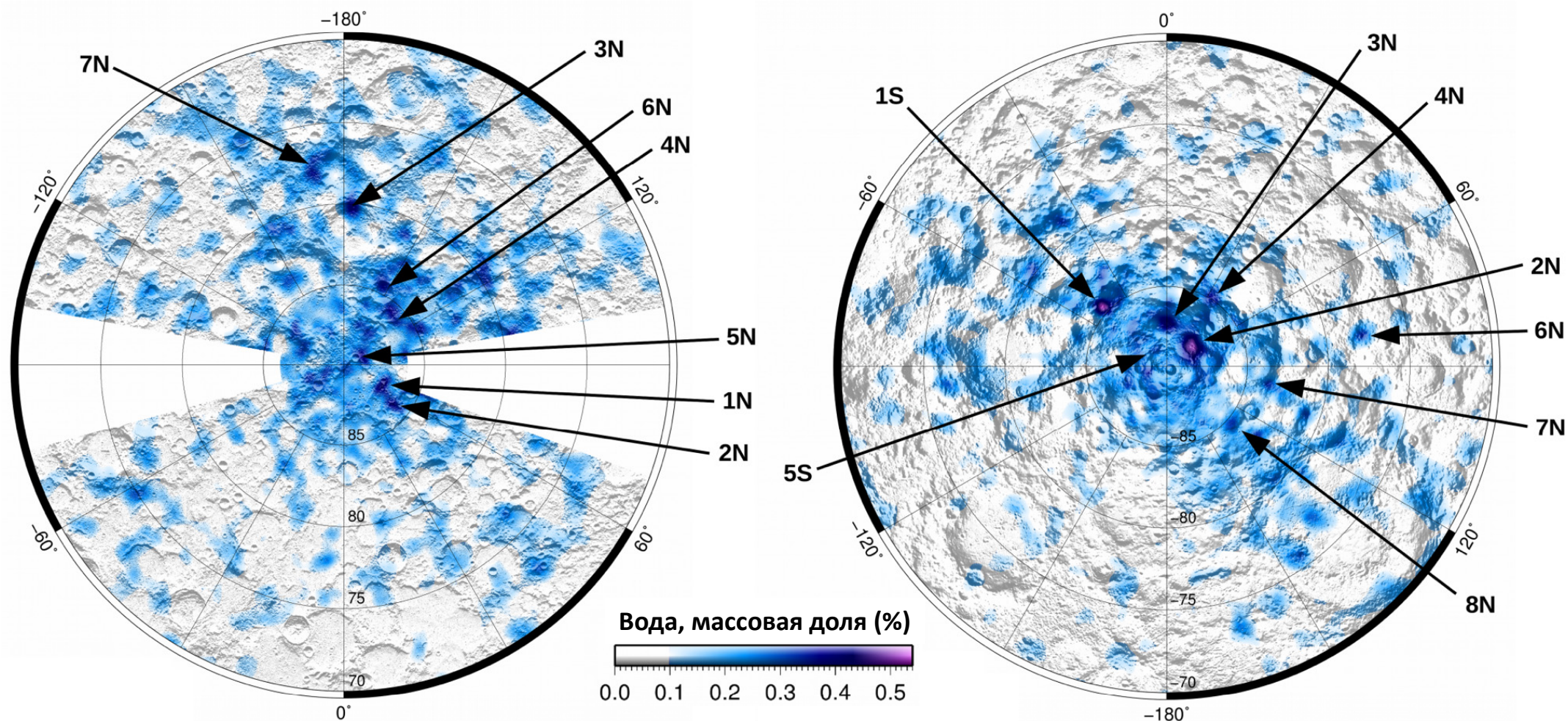
Прибор ЛЕНД на миссии НАСА «ЛРО» 2010 год

Проверка гипотезы о наличии льда вечно затененных кратерах



Chin G. et al., Space Science Review, 2007; Mitrofanov I.G. et al., Space Science Review, 2010

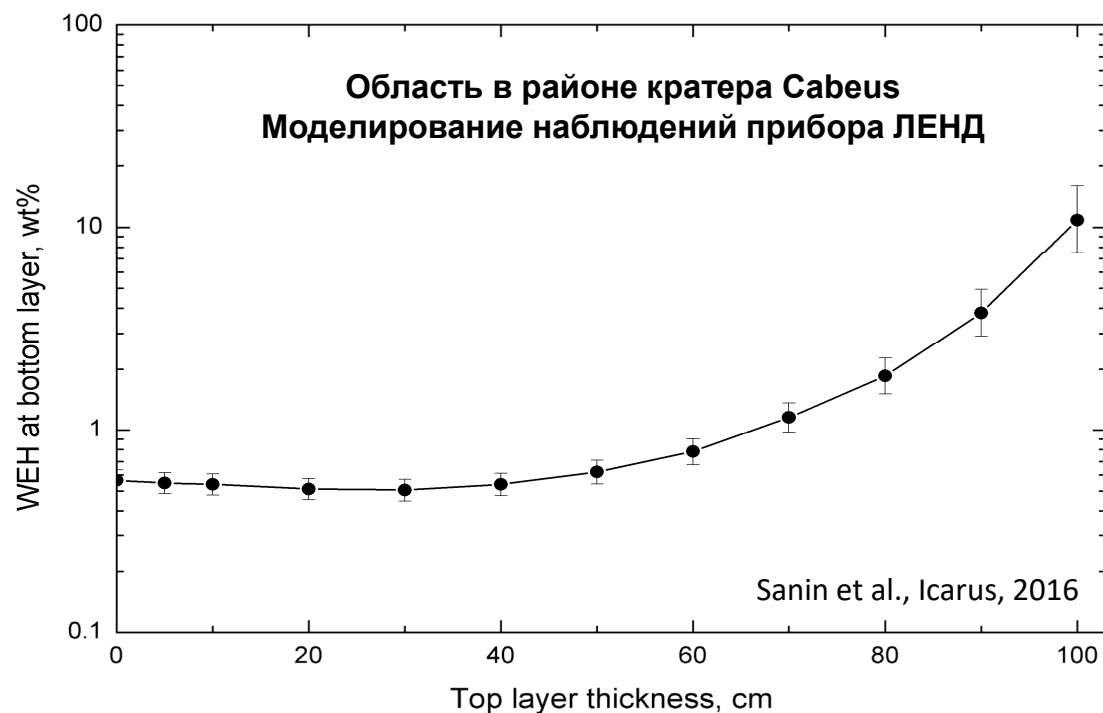
Оценки содержания водяного льда в приповерхностном слое (на глубину до 1 м)



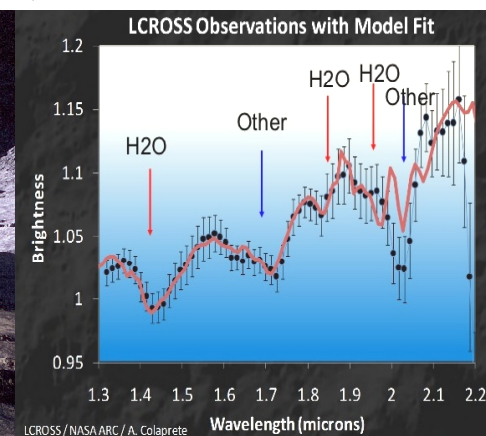
Российский нейтронный детектор ЛЕНД в составе орбитальной миссии НАСА LRO

Mitrofanov I.G. et al., *Science*, 2010; Mitrofanov et al., *Journal of Geoph. Res.*, 2012; Litvak M.L. et al., *Journal of Geoph. Res.*, 2012; Sanin et al., *Icarus*, 2016

Эксперимент LCROSS – прямая проверка наличия водяного льда (целеуказание по ЛЕНД)



- Водяной лед может сохраниться под сухим слоем реголита в частично освещенных районах рядом с постоянно затенёнными кратерами. Моделирование показывает, что под 1 метром сухого реголита может находиться до 10% воды.
- В соответствии с данными ударного эксперимента LCROSS в облаке поднятого взрывом вещества нашли $5.6 \pm 2.9\%$ воды



Результаты прибора ЛЕНД опубликованы в журнале Science, а молодые ученые из научной команды эксперимента ЛЕНД получили премию Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых учёных за 2010 год"

Science Current Issue First release papers Archive About Submit manuscript GET OUR E-ALERTS

Hydrogen Mapping of the Lunar South Pole Using the LRO Neutron Detector Experiment LEND

L. G. MITROFANOV, A. B. SANIN, W. V. BOYNTON, G. CHIN, J. B. GARVIN, D. GOLOVIN, L. G. EVANS, K. HARSHMAN, A. S. KOZYREV, [...] M. T. ZUBER +20 authors

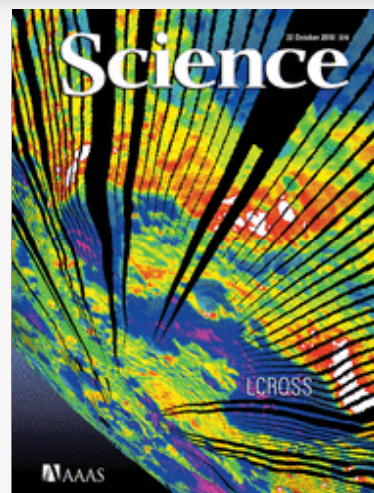
[Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 22 Oct 2010 • Vol 330, Issue 6003 • pp. 483-486 • DOI:10.1126/science.1185696

NOTIFICATIONS 241 206 CHECK ACCESS

Watering the Moon

About a year ago, a spent upper stage of an Atlas rocket was deliberately crashed into a crater at the south pole of the Moon, ejecting a plume of debris, dust, and vapor. The goal of this event, the Lunar Crater Observation and Sensing Satellite (LCROSS) experiment, was to search for water and other volatiles in the soil of one of the coldest places on the Moon: the permanently shadowed region within the Cabeus crater. Using ultraviolet, visible, and near-infrared spectroscopy data from accompanying craft, *Colaprete et al.* (p. 463; see the news story by *Kerr*; see the cover) found evidence for the presence of water and other volatiles within the



Lysosomal enzyme trafficking factor LYSET enables nutritional usage of extracellular proteins

BY CATARINA PECHINCHA, SVEN GROESSL, ET AL.

The human disease gene LYSET is essential for



Chang'e-5: Возврат лунного грунта

Место посадки в Океане Бурь к северо-востоку от вулканического пика Рюмкера. (43.06°N 51.916°W) 1 Декабря 2020. Забор (манипулятор + Буровое ГЗУ) 1.73 кг лунного грунта. В том числе порядка 200 грамм с глубины 1 м. Возврат капсулы с грунтом на Землю 16 декабря.



nature COMMUNICATIONS

ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/s41467-022-32807-2> OPEN

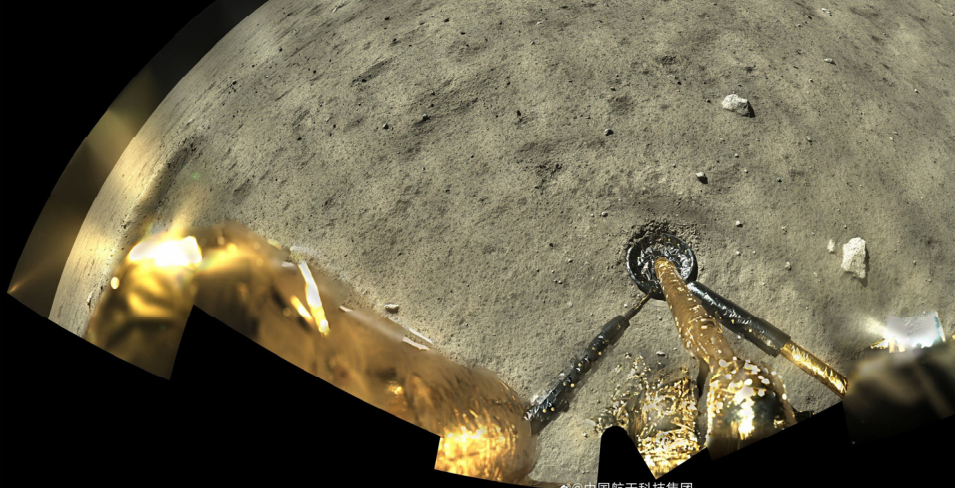
Evidence of water on the lunar surface from Chang'E-5 in-situ spectra and returned samples

Jianjun Liu^{1,2,3,11}, Bin Liu^{1,11}, Xin Ren¹, Chuntai Li^{1,2,10}, Rong Shu¹⁰, Lin Guo^{1,2}, Songzheng Yu^{1,2}, Qin Zhou¹, Dawei Liu², Xingqiao Zheng¹, Xingye Gao¹, Guangliang Zhang², Wei Yang¹, Hongbo Zhang^{1,2}, Lihui Jia⁴, Shifeng Jin⁵, Chunhua Xu⁵, Xiangjin Deng⁶, Jianfeng Xia⁷, Jianfeng Yang⁸, Changming Huang⁸, Wei Zuo^{1,2}, Yan Su^{1,2}, Weibin Wen¹ & Ziyuan Ouyang^{1,10}

The distribution range, time-varying characteristics, and sources of lunar water are still controversial. Here we show the Chang'E-5 in-situ spectral observations of lunar water under Earth's magnetosphere shielding and relatively high temperatures. Our results show the hydroxyl contents of lunar soils in Chang'E-5 landing site are with a mean value of 28.5 ppm, which is on the weak end of lunar hydration features. This is consistent with the predictions from remote sensing and ground-based telescopic data. Laboratory analysis of the Chang'E-5 returned samples also provide critical clues to the possible sources of these hydroxyl contents. Much less apatite-rich samples suggest a weak contribution of solar-wind implantation. Besides, the apatite present in the samples can provide hydroxyl contents in the range of 0 to 179 ± 13 ppm, which shows compelling evidence that the hydroxyl-containing apatite may be an important source for the excess hydroxyl observed at this young mare region.

¹Key Laboratory of Lunar and Deep Space Exploration, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China. ²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China. ³Key Laboratory of Space Active Opto-electronics Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China. ⁴State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China. ⁵Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China. ⁶Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China. ⁷Beijing Aerospace Control Center, Beijing 100094, China. ⁸Pan Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Yiwu 322109, China. ⁹Beijing Institute of Space Mechanics, Chinese Academy of Space Technology, Beijing 100076, China. ¹⁰Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550008, China. ¹¹These authors contributed equally. *e-mail: liujianjun@nsoa.ac.cn; liubin@nsoa.ac.cn

NATURE COMMUNICATIONS | (2022)13:3991 | <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32807-2> | www.nature.com/naturecommunications



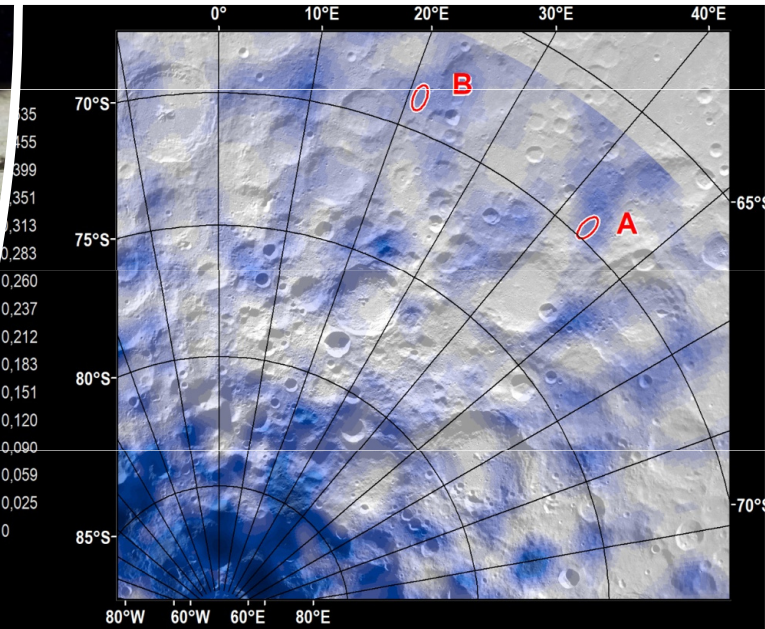
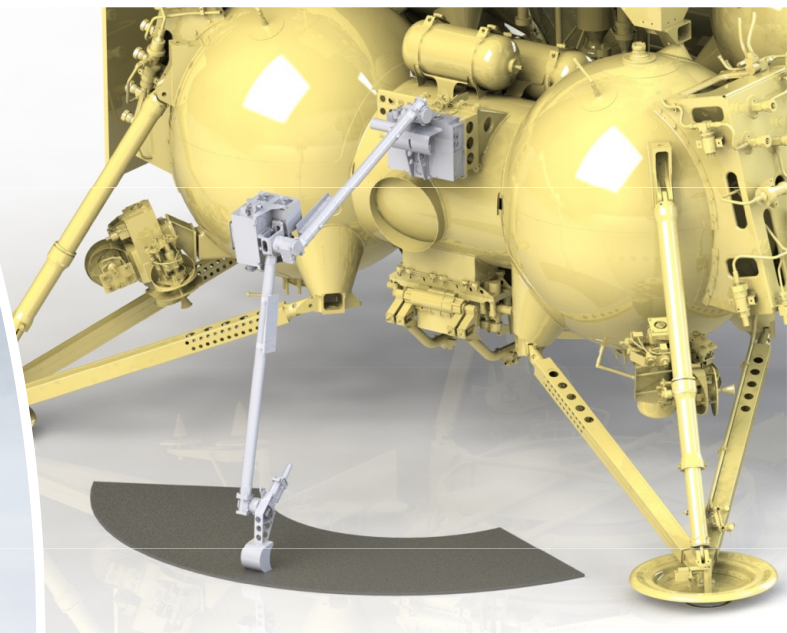
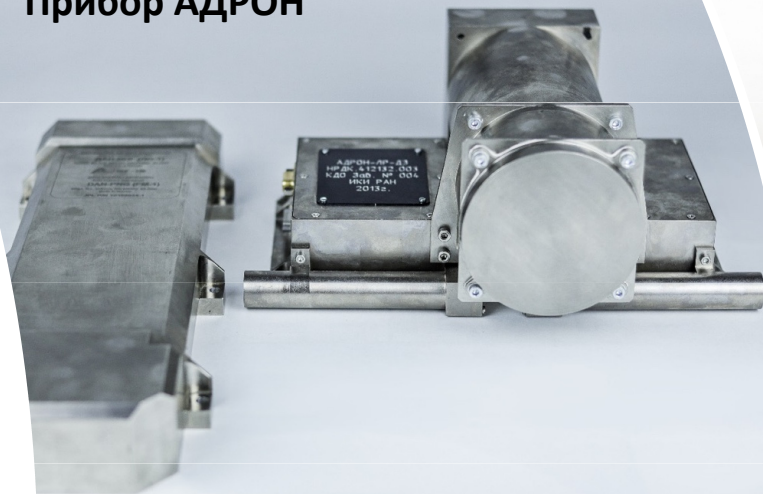
Луна – 25. Первая полярная экспедиция! Пока с помощью роботов



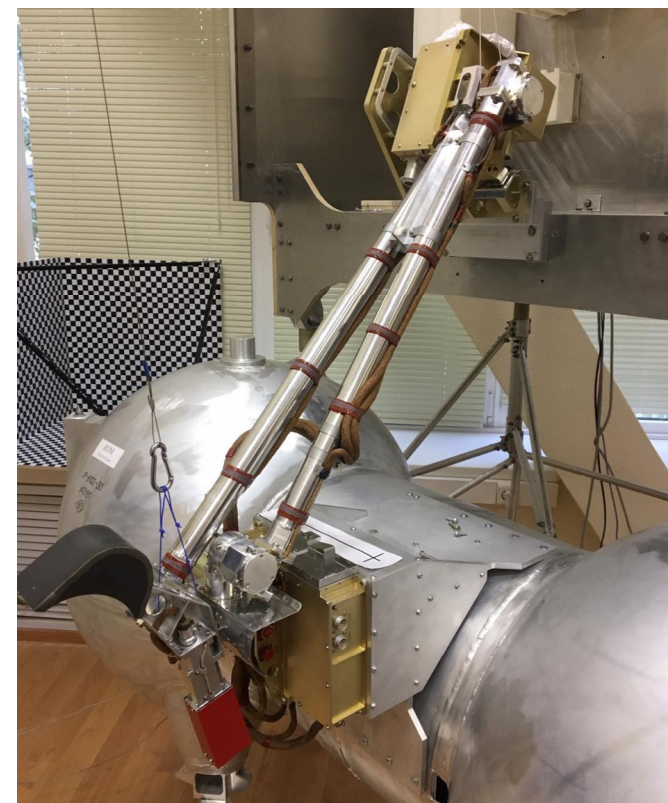
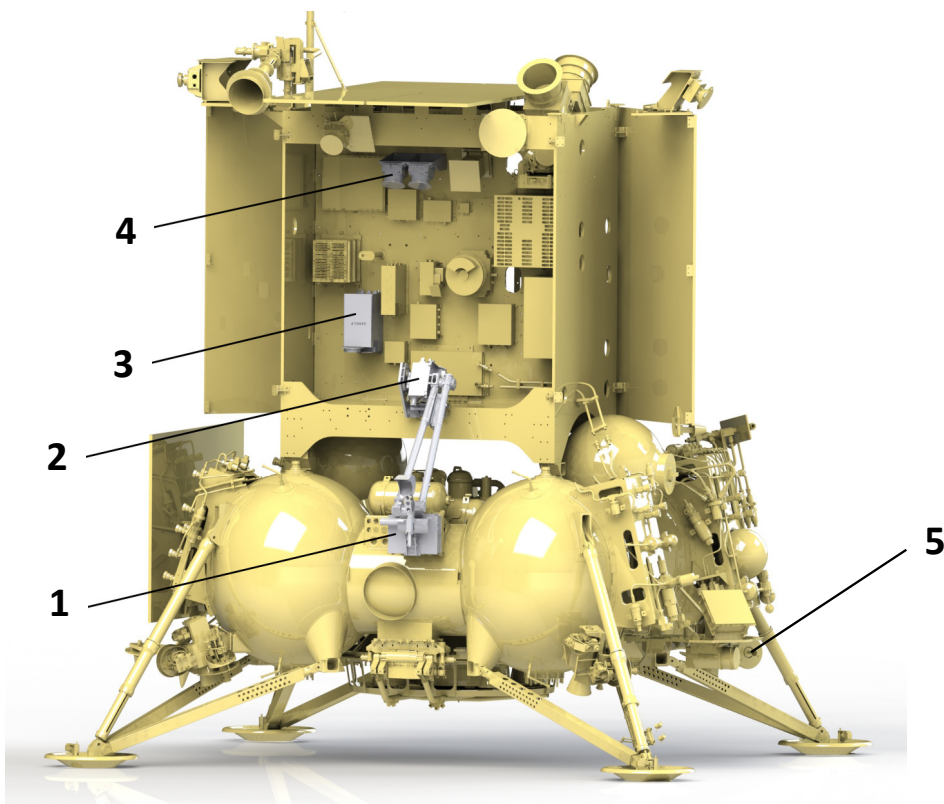
Первая полярная миссия Луна – 25

ЗАДАЧА. Оценка массовой доли воды и летучих соединений в лунном веществе, выяснение элементного и изотопного состава верхнего слоя полярного реголита в районе посадки до глубины около 1 метра.

Прибор АДРОН



Лунный Манипулятор: раскопать лунный грунт под посадочным аппаратом, взять образец и доставить его в аналитическую лабораторию на борту, чтобы узнать элементный и изотопный состав лунного полярного вещества



Квалификационно-доводочный образец ЛМК во время испытаний в ИКИ РАН

Визуализация космического аппарата «Луна-25» с установленными приборами. 1 – ЛМК, 2 – ЛИС-ТВ-РПМ, 3 – ЛАЗМА-ЛР, 4 – стереокамеры СТС-Л., 5 – АДРОН - ЛР

Тестирование ЛМК в «комнатных» условиях



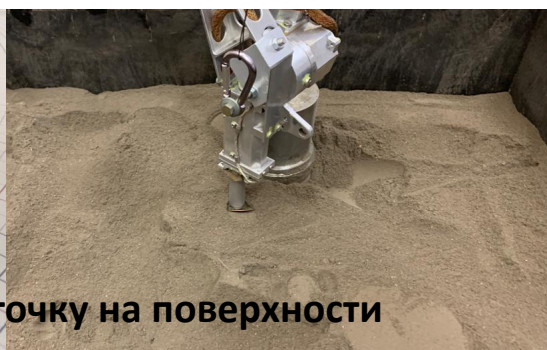
Доступная зона для копания



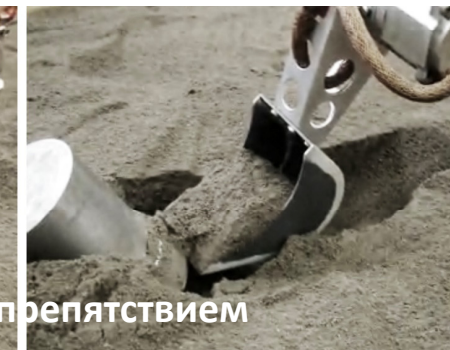
Доставить образец в аналитический прибор



Попадание в заданную точку на поверхности

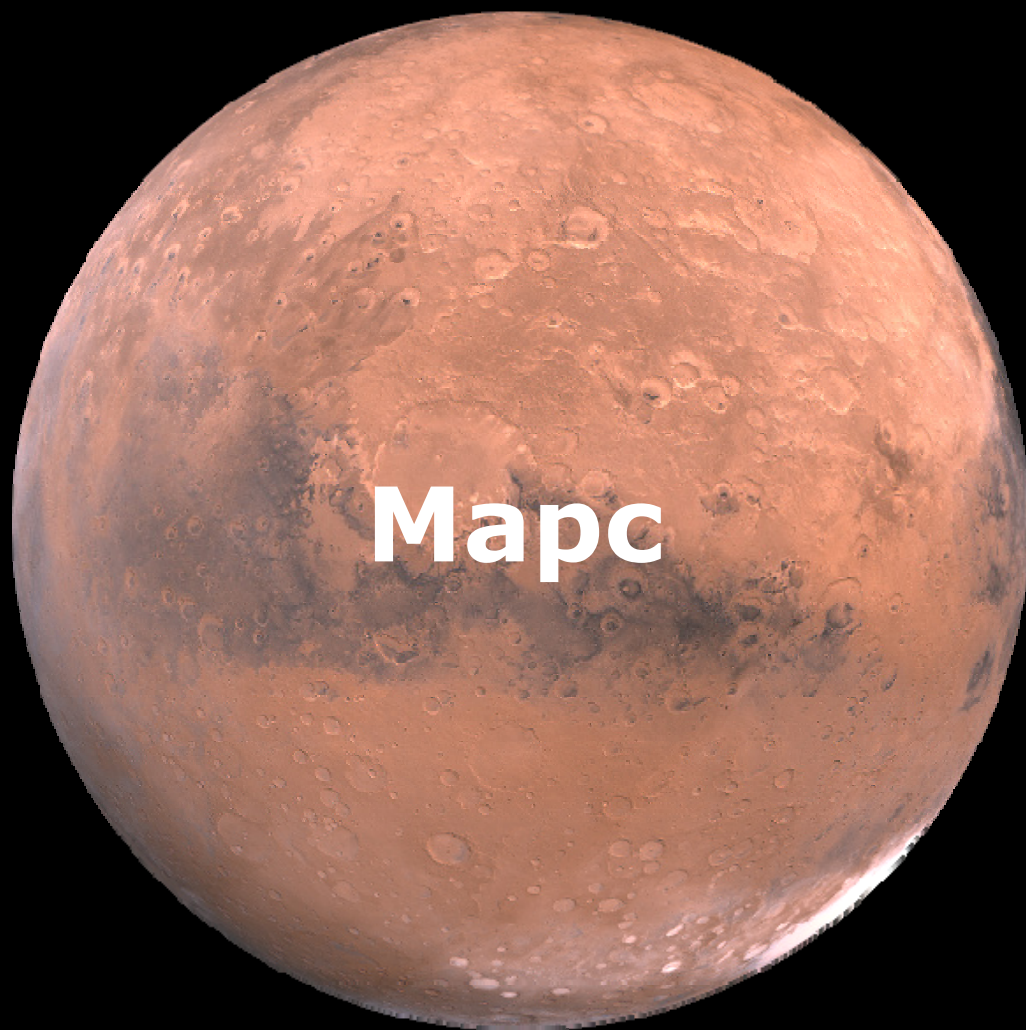


Встреча с препятствием



Тестирование манипулятора для Луны – 25 на аналоге лунного грунта





Марс

Вероятно на древнем Марсе был теплый и влажный климат и могли существовать океаны. Современный Марс холодный и сухой, но даже сейчас его полярные районы представляют собой вечную мерзлоту с большим содержанием подповерхностного водяного льда.

На современном Марсе низкое давление и отрицательные температуры, поэтому жидкая вода не может существовать на поверхности, а водяной лед сосредоточен в полярных шапках

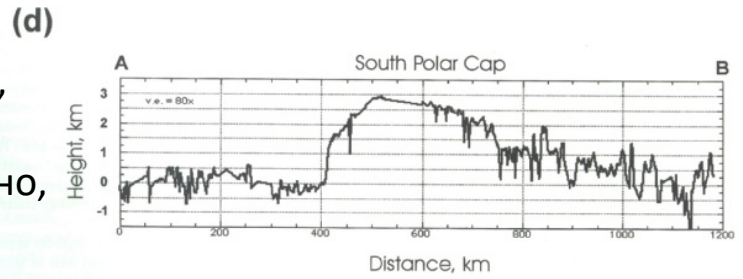
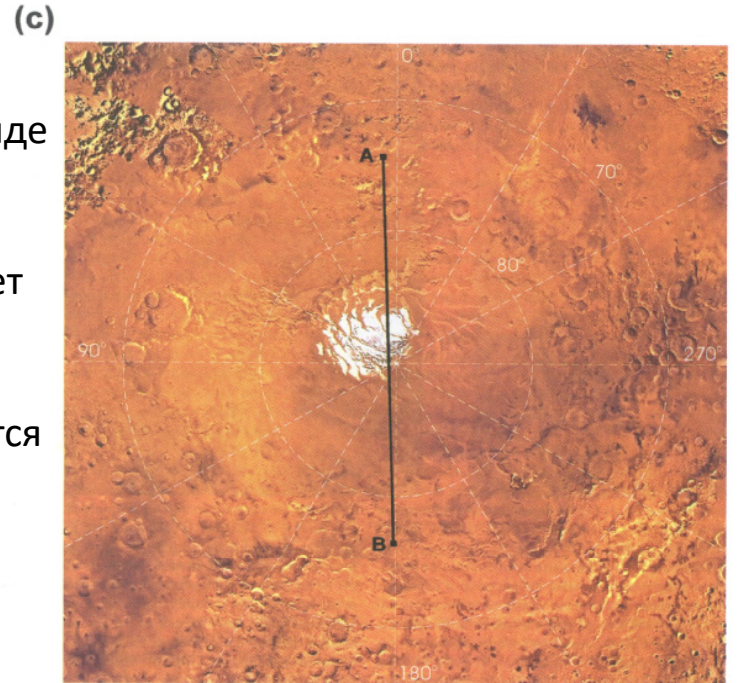
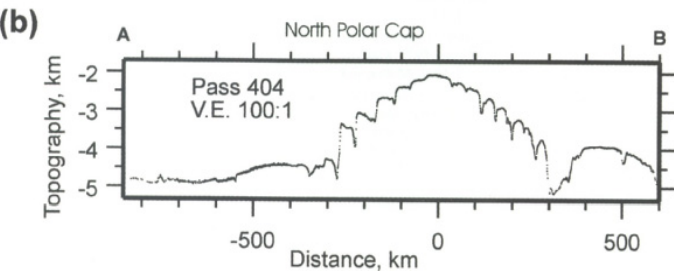
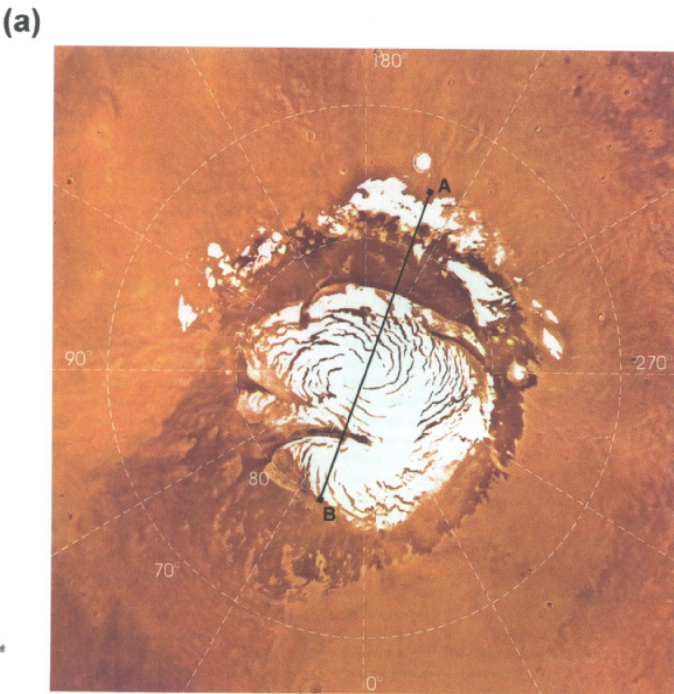
Вода на современном Марсе сосредоточена в полярных районах в виде подповерхностного водяного льда.

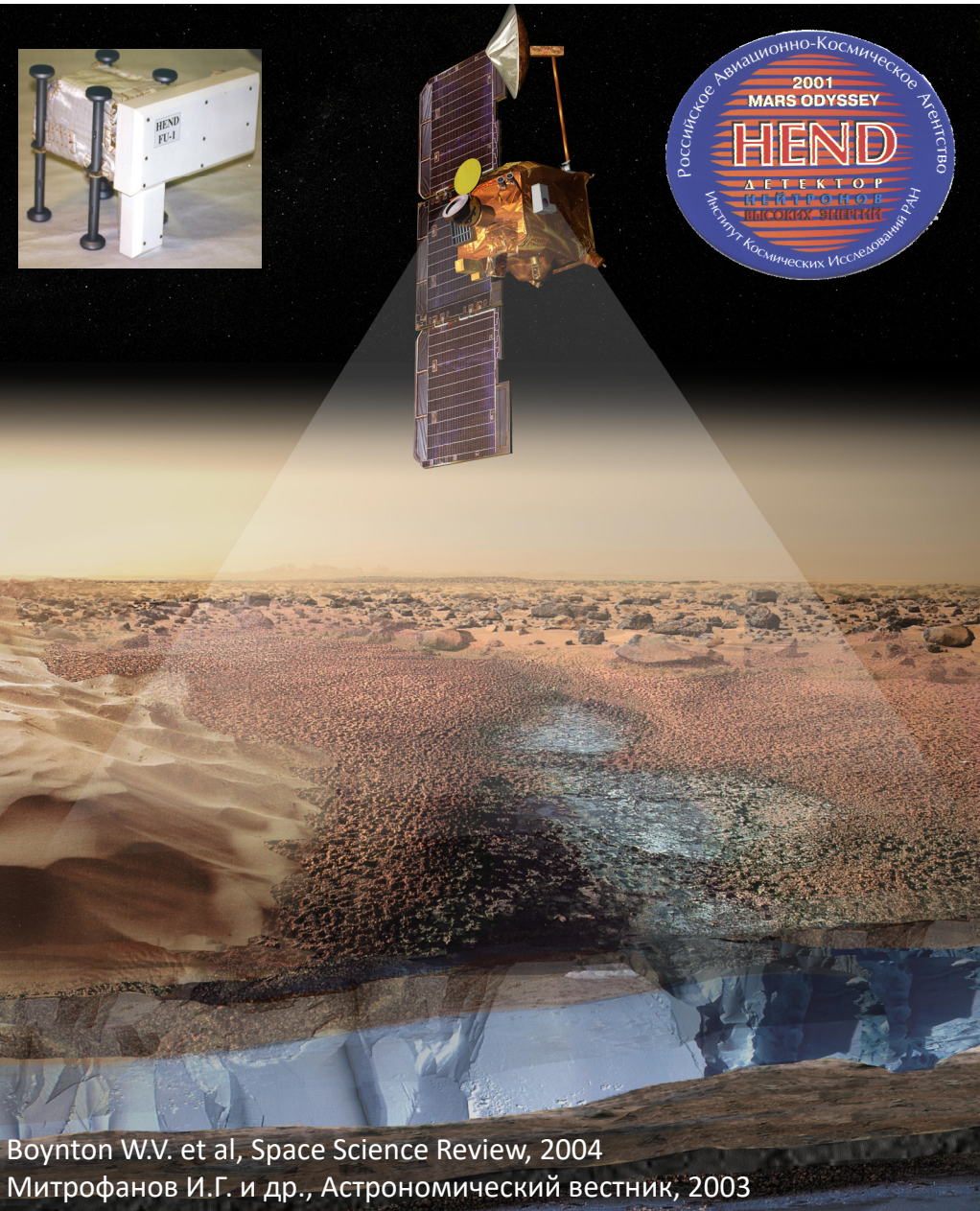
Если весь лед растопить, то вода покроет всю поверхность Марса слоем ~35 м.

Постоянные полярные шапки обнажаются во время полярного лета.

Наблюдения Viking 1,2 показали, что северная полярная шапка практически целиком состоит из водяного льда.

Южная шапка состоит из водяного льда, покрытого сверху слоем осажденной углекислоты (даже летом там так холодно, что углекислота сохраняется на поверхности)



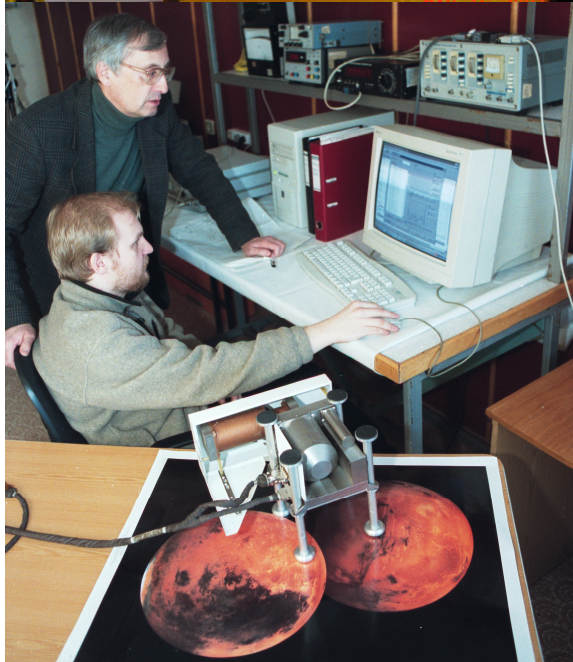
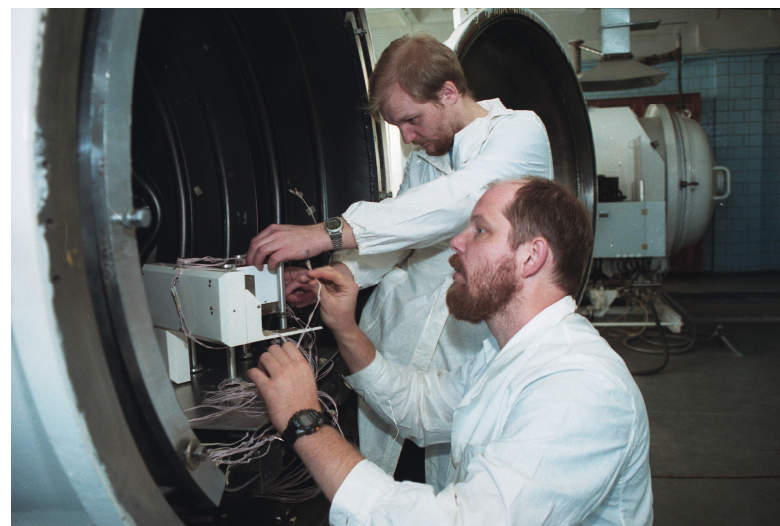
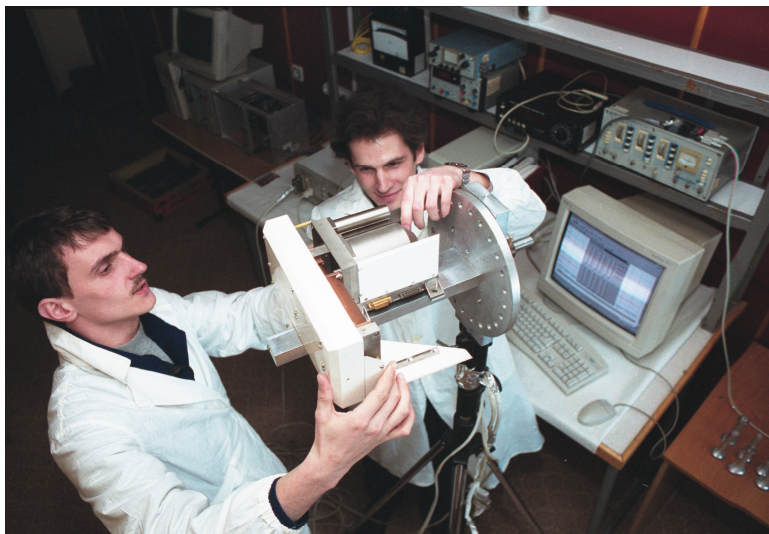


Поиск подповерхностного льда: Миссия НАСА Марс Одиссей 2001, прибор ХЕНД

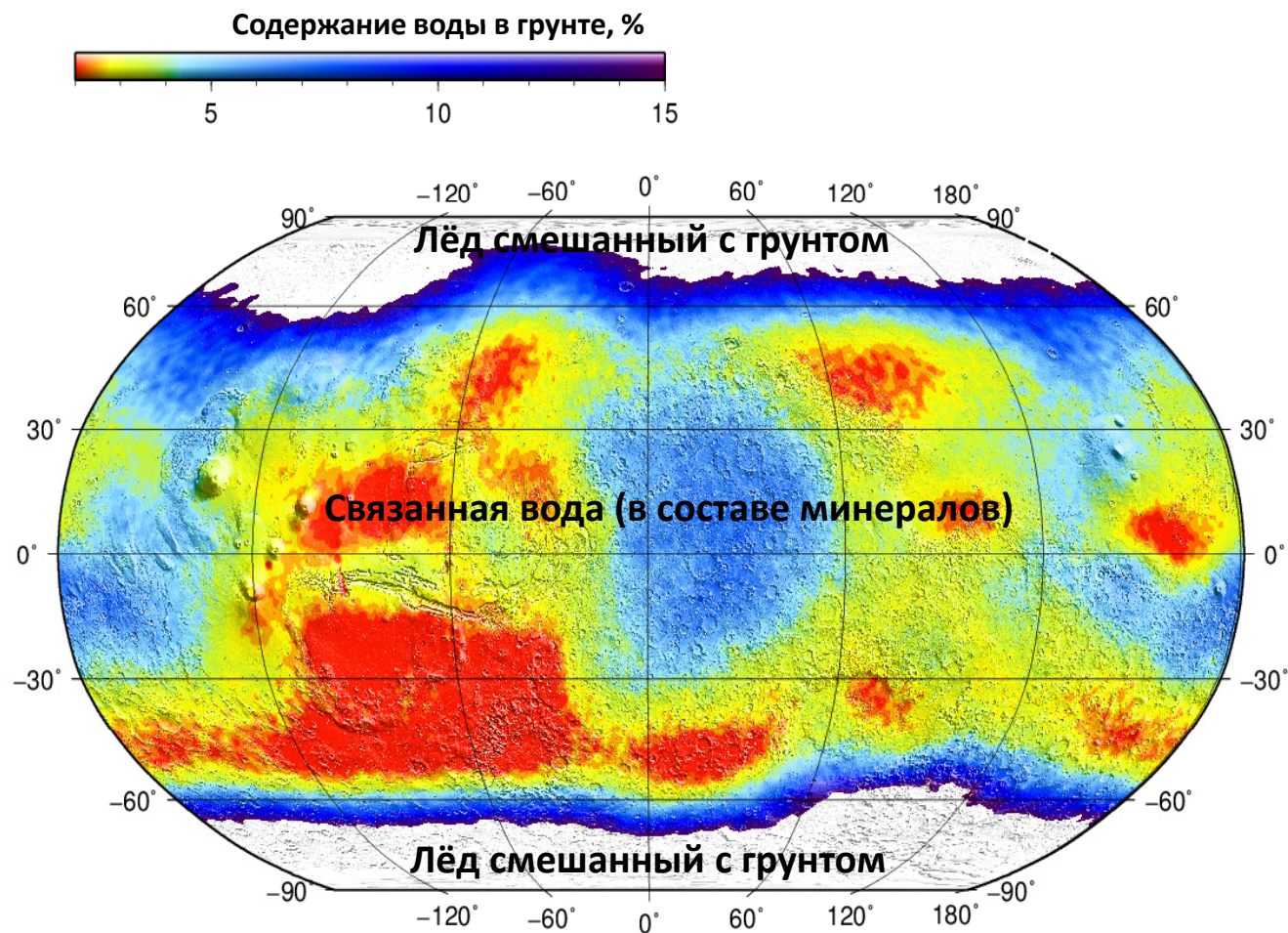
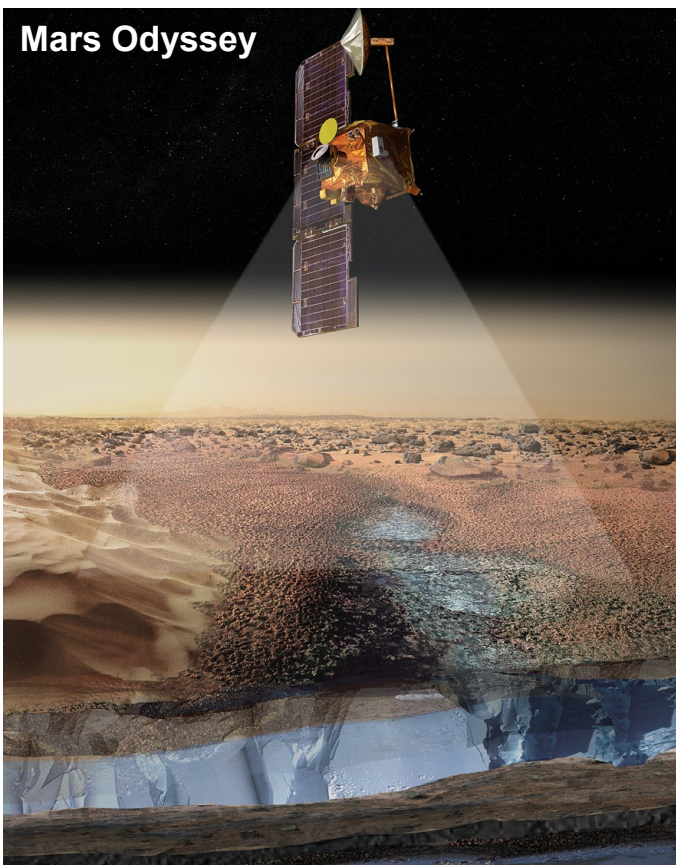
Научные задачи прибора ХЕНД

- Измерение абсолютной величины потока нейтронов от поверхности Марса в разных спектральных диапазонах.
- Определение массовой доли водяного льда и химически связанной воды, а также оценка глубины залегания водосодержащих слоев.
- Поиск сезонных вариаций нейтронного альbedo Марса над полярными областями планеты
- Мониторинг нейтронной компоненты радиационного фона.
- Регистрация солнечных событий и гамма - всплесков.

1998 – 2001 Разработка ХЕНД в ИКИ РАН и установка на борт космического аппарата



На современном Марсе по данным нескольких приборов, включая российский прибор ХЕНД, были обнаружены огромные резервуары подповерхностного водяного льда на глубине до 1 м



Distribution of Hydrogen in the Near-Surface of Mars: Evidence for Subsurface Ice Deposits

W. V. Boynton,^{1*} W. C. Feldman,² S. W. Squyres,³ T. Prettyman,² J. Brückner,⁴ L. G. Evans,⁵ R. C. Reedy,^{2,6} R. Starr,⁷ J. R. Arnold,⁸ D. M. Drake,⁹ P. A. J. Englert,¹⁰ A. E. Metzger,¹¹ Igor Mitrofanov,¹² J. I. Trombka,¹³ C. d'Uston,¹⁴ H. Wänke,⁴ O. Gasnault,¹⁴ D. K. Hamara,¹ D. M. Janes,¹ R. L. Marcialis,¹ S. Maurice,¹⁵ I. Mikheeva,¹ G. J. Taylor,¹⁶ R. Tokar,² C. Shinohara¹

¹Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, Tucson, AZ 85721, USA. ²Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545, USA. ³Center for Radiophysics & Space Research, Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA. ⁴Max-Planck-Institut für Chemie, 55020 Mainz, Federal Republic of Germany. ⁵Science Programs, Computer Sciences Corporation, Lanham, MD 20706, USA. ⁶Institute of Meteoritics, University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131, USA. ⁷Department of Physics, The Catholic University of America, Washington, DC 20064, USA. ⁸Department of Chemistry, University of California San

Wellington, New Zealand. ⁹Research Institute Spatiale des Représentations, Honolulu, HI 96813, USA.

*To whom correspondence should be addressed. E-mail: wboynton@lanl.gov

Using the Gamma-ray Spectrometer on Mars Odyssey, we find that are more enriched in hydrogen than other regions.

Maps of Subsurface Hydrogen from the High-Energy Neutron Detector, Mars Odyssey

I. Mitrofanov,¹ D. Anfimov,¹ A. Kozyrev,¹ M. Litvak,¹ A. Sanin,¹ V. Tret'yakov,¹ A. Krylov,² V. Shvetsov,² W. Boynton,³ C. Shinohara,³ D. Hamara,³ R. S. Saunders⁴

¹Institute for Space Research, Moscow 117997, Russia. ²Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 141980, Russia. ³University of Arizona, Tucson, AZ 85721, USA. ⁴Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA 91109, USA.

After 55 days of mapping by the High Energy Neutron Detector onboard Mars Odyssey, we found deficits of high energy neutrons in southern highlands and the northern lowlands of Mars. The deficits of high energy neutrons indicate that hydrogen is concentrated in the subsurface. These deficits of high energy neutrons indicate that water-ice rich layers that are thicker than the thickness provide one possible fit

Germanium Sensor Head and the Neutron Spectrometer. These instruments are mapping Mars to determine the composition of the subsurface layer. HEND began mapping on 18 February 2002 when Odyssey was inserted into a circular

Global Distribution of Neutrons from Mars: Results from Mars Odyssey

W. C. Feldman,^{1*} W. V. Boynton,² R. L. Tokar,¹ T. H. Prettyman,¹ O. Gasnault,¹ S. W. Squyres,³ R. C. Elp Lawrence,¹ S. L. Lawson,¹ S. Maurice,⁴ G. W. McKinney,¹ K. R. Moore,¹ R. C. Reedy¹

¹Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545, USA. ²University of Arizona, Lunar Planetary Laboratory, Tucson, AZ 85721, USA. ³Cornell University, Center for Radiophysics and Space Research, Ithaca, NY 14853, USA. ⁴Midi-Pyrénées, 31400 Toulouse, France.

*To whom correspondence should be addressed. E-mail: wfeldman@lanl.gov

Global distributions of thermal, epithermal, and fast neutron fluxes have been mapped during late southern summer/northern winter using the Mars Odyssey Neutron Spectrometer. These fluxes are selectively sensitive to the vertical and lateral spatial distributions of H and CO₂ in

Четыре публикации в Science про воду и сезонный цикл: 1500 ссылок.

CO₂ Snow Depth and Subsurface Water-Ice Abundance in the Northern Hemisphere of Mars

I. G. Mitrofanov,^{1*} M. T. Zuber,² M. L. Litvak,¹ W. V. Boynton,³ D. F. Smith,⁴ D. Drake,⁵ D. Hamara,⁶ A. S. Kozyrev,¹ A. R. Sanin,¹ C. Shinohara,⁷ R. S. Saunders,⁸ V. Tret'yakov⁹

Observations of seasonal variations of neutron flux from the high-energy neutron detector (HEND) on Mars Odyssey combined with direct measurements of the thickness of condensed carbon dioxide by the Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) on Mars Global Surveyor show a latitudinal dependence of northern winter deposition of carbon dioxide. The observations are also consistent with a shallow substrate consisting of a layer with water ice overlain by a layer of drier soil. The lower ice-rich layer contains between 50 and 75 weight % water, indicating that the shallow subsurface at northern polar latitudes on Mars is even more water rich than that in the south.

Mars undergoes seasons in which volatile species, carbon dioxide (CO₂) and, to a much lesser extent, water are exchanged between the atmosphere and surface (1, 2). The winter deposition in both hemispheres consists of condensed CO₂, whose accumulation and sublimation are controlled mainly by solar insolation (3). Throughout the dark autumn and winter seasons, CO₂ accumulates on the surface (4) from the pole to mid-latitudes. In spring, as sunlight returns, CO₂ sublimates back into the atmosphere, exposing the ground surface and residual ice caps at the poles. The north polar residual cap is composed of water ice (5), but the south polar residual ice cap retains CO₂ year-round (6, 7). Water is much less abundant in the atmosphere than CO₂ (8), but a large amount of water ice is believed to be sequestered in the shallow substrate (9, 10), perhaps representing the frozen remnant of water that once flowed freely on the surface in earlier epochs (11, 12). The seasonal cycling of Martian volatiles and the inventories in primary reservoirs have implications for understanding present meteorological processes as well as climate change. To this end, we combine new observations of the neutron flux by HEND (Mars Odyssey) in the northern hemisphere with measurements of topographic height changes from MOLA (Mars Global Surveyor) to measure the thickness of condensed CO₂ and

to estimate the water-ice content of the shallow subsurface at northern polar latitudes.

Nuclear emission from Mars is produced within the uppermost surface layer, where energetic charged particles of galactic cosmic rays interact with nuclei of subsurface material and produce secondary neutrons. The neutrons interact with these nuclei, generating emission of nuclear gamma-ray lines and moderating down to thermal energy (13–15). Each nucleus is characterized by a set of particular spectral lines of gamma rays, measurement of which permits a determination of the soil composition in the layer of neutron production, ~1 to 2 m thick.

The Mars Odyssey spacecraft measures induced nuclear emission from Mars with the three detectors of the Gamma-Ray Spectrometer (GRS) suite (16). The GRS includes a germanium (Ge) sensor for detection of nuclear lines of gamma rays, a neutron spectrometer (NS) for detection of thermal and fast neutrons (17), and a high-energy neutron detector (HEND) (18).

Among all elements, hydrogen is the most straightforward to detect by nuclear emission. First, a leakage flux of neutrons from the surface depends on the presence of hydrogen. Collisions of energetic neutrons with protons (hydrogen nuclei) lead to their rapid moderation down to thermal energies in comparison with much slower moderation by heavier nuclei such as Si or O. Second, slow neutrons are efficiently captured by hydrogen, with the production of deuterium in the excited state followed by emission of photons at 2.2 MeV. Consequently, a reduced flux of high-energy neutrons and an excess of 2.2-MeV photons over a region of Mars, compared to typical values, indicate the presence of hydrogen in the layer of neutron production. Water is the most abundant substance that contains hydrogen, and therefore the enhancement of hydro-

gen can be taken as a proxy for the enhancement of water (19).

Soon after the initiation of the Odyssey mapping stage, the two neutron instruments detected a strong depression of high-energy neutrons from high southern latitudes >60°S of Mars (17, 18). During the same period, the GRS detected a strong excess of 2.2-MeV photon flux from the same region (19). These observations were interpreted collectively as evidence for an extensive water ice-bearing region, poleward of 60°S latitude, characterized by 35 ± 15 weight % (wt %) water ice, overlain by a layer of drier soil with a latitude-dependent thickness within 10 to 100 cm (17–19).

Maps of neutron flux (17, 18) were obtained during the southern hemisphere summer, at solar longitude L_s ~ 330° (20), when the ground at high northern latitudes was covered by CO₂ that condensed from the martian atmosphere during the winter night (4). Mars Odyssey has now collected data for more than half a martian year and includes temporal coverage of the winter-to-summer transition in the north. The difference in epithermal neutron flux (21) from the northern hemisphere of Mars for winter (L_s = 330° to 360°) compared to summer (L_s = 90° to 165°) reflects the seasonal change in the composition of material in the layer of neutron production (Fig. 1).

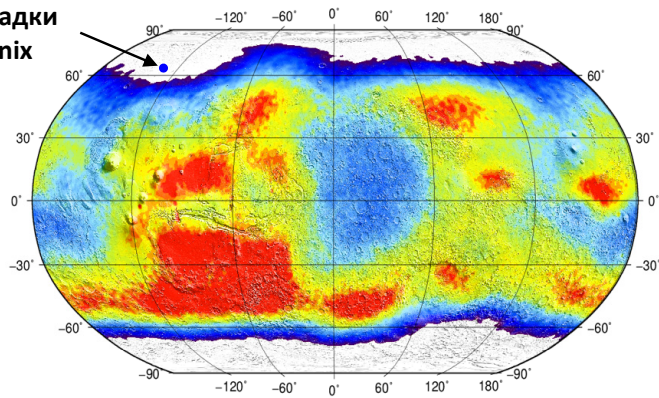
Figure 2 highlights this change for four latitudinal annuli: 80° to 85°N, 75° to 79°N, 70° to 74°N, and 65° to 69°N. High count rates of neutrons at L_s = 330° to 360° correspond to the end of northern hemisphere winter, when the dry layer of CO₂ covered the high-latitude surface of the northern hemisphere (22) (Fig. 2). The map for this season does not show a strong signature of water ice at high latitudes, except for a localized area north of the Tharsis volcanic province in Vastitas Borealis (Fig. 1, left; longitudes ~180° to 270°E). The absence of a water signature at other longitudes around the pole indicates that neutron production occurred primarily in the CO₂ layer.

In early spring, when the surficial cover of CO₂ sublimates, the layer of neutron production begins to include the soil. Because the ground contains more water than the layer of CO₂ deposition, the flux of neutrons decreases with increasing L_s (Fig. 2). The neutron flux stabilizes at L_s = 60° for the annulus 65° to 69°N, at L_s = 90° for the 70° to 74°N and 75° to 79°N annuli, and at L_s = 100° for the annulus 80° to 85°N, at which points there is virtually no condensed CO₂ on the soil in the northern hemisphere. Direct observations at the same locations by previous missions confirm the absence of surficial CO₂ deposition after similar seasons of the Martian year (23). The corresponding summer map for L_s = 100° to 165° is characterized by a decrease in

¹Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997, Russia. ²Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139-4307, USA. ³Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, Tucson, AZ 85721, USA. ⁴Laboratory for Terrestrial Physics, NASA-Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA. ⁵Tech-Source, Santa Fe, NM 87505, USA. ⁶NASA Headquarters, Washington, DC 20545, USA.

*To whom correspondence should be addressed. E-mail: imitro@space.ru

Место посадки
КА Phoenix

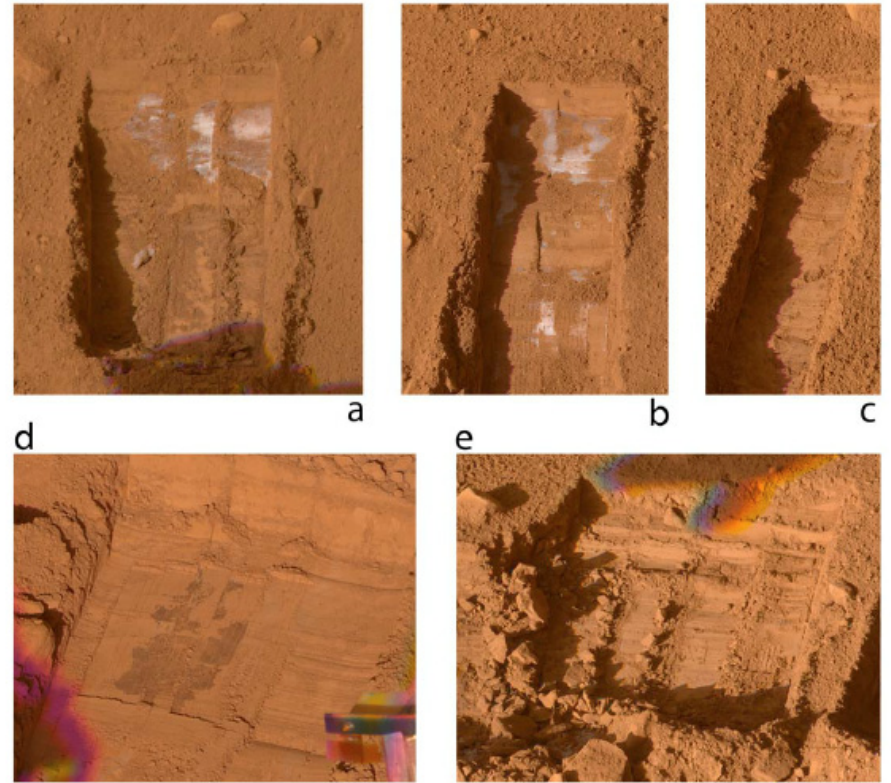


Обнаружение льда непосредственно на поверхности во время работы посадочного аппарата НАСА Phoenix.

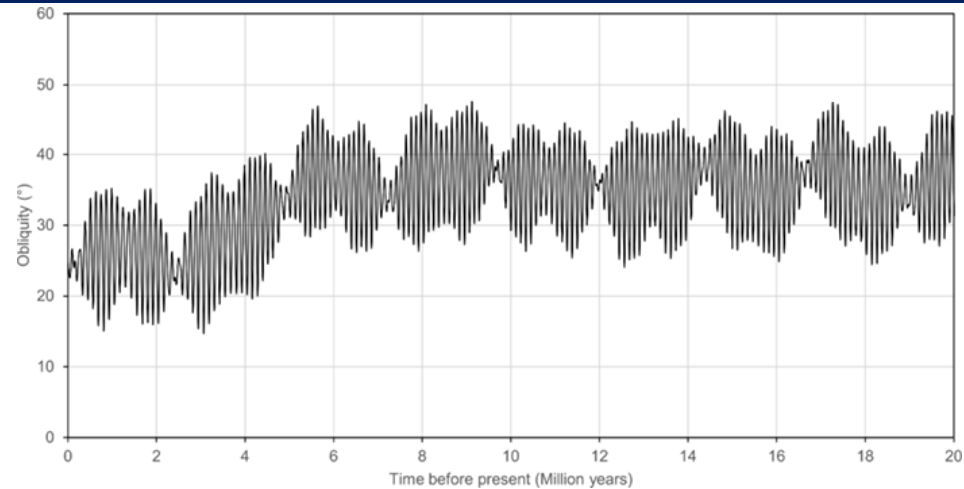
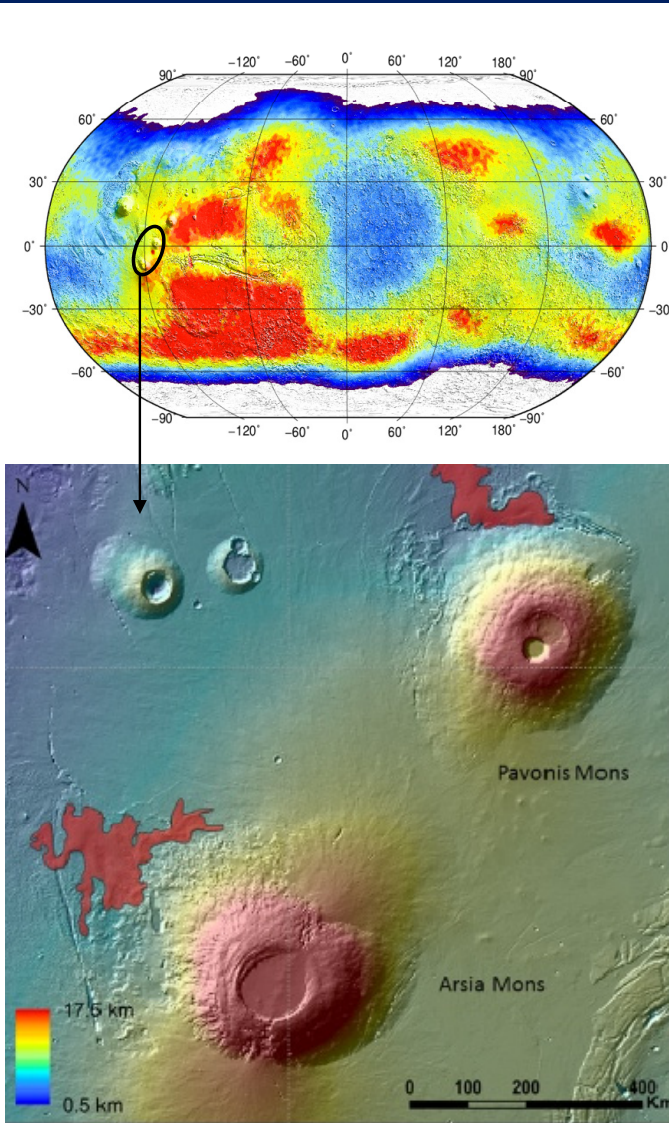
С помощью манипулятора были раскопаны небольшие
траншеи, в которых на дне обнаружился водяной лед.



Mellon M.T. et al., Journal of Geophysical Research, 2009



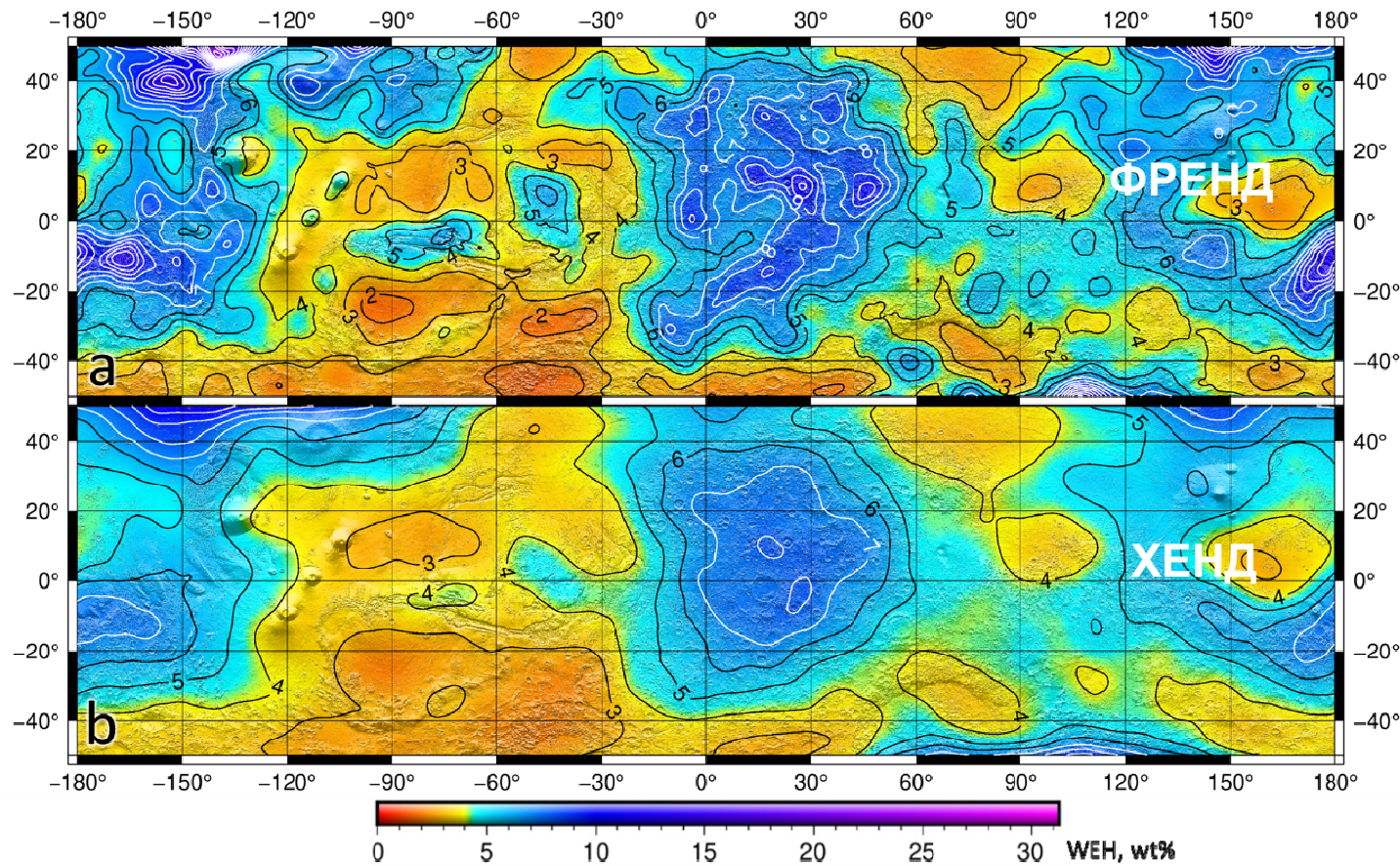
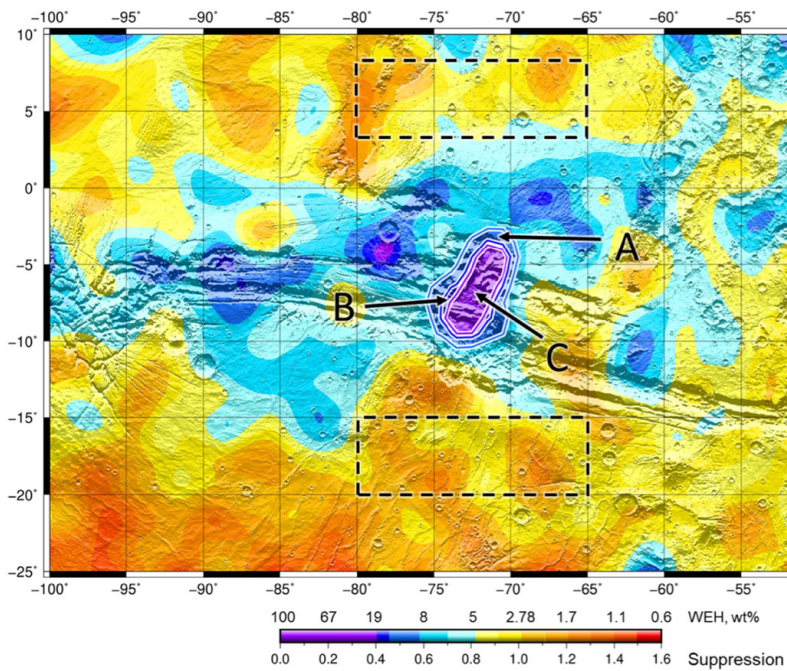
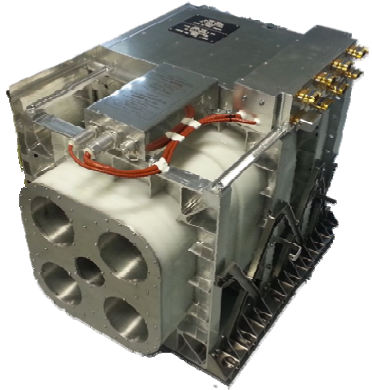
Реликтовый лед на экваториальных широтах Марса

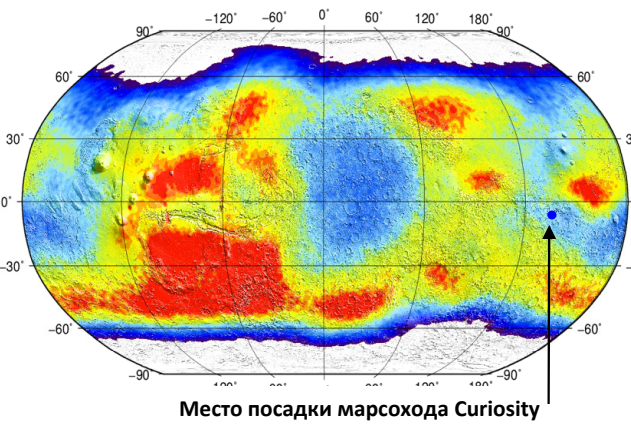


- ❑ Из-за периодических изменений наклона оси вращения Марса (с текущих 25° до 45°) происходило перераспределение водяного льда из полярных областей в экваториальные – он накапливался на склонах крупных вулканов, образуя крупные ледники толщиной до 1 км.
- ❑ Когда климат менялся, ледники отступали, оставляя характерные следы на поверхности.
- ❑ Часть льда могла сохраниться под поверхностью до наших дней (так как изолирована от внешних условий).
- ❑ Реликтовый лед мог сохраниться на глубине до 16 м, а его возраст составляет 120 – 200 млн. лет

Реликтовый лед на экваториальных широтах Марса

Российский прибор ФРЕНД на борту миссии ЕКА «ТГО» проводит глобальное картографирование (с 2018) подповерхностной воды с высоким пространственным разрешением (60 - 200 км). Получены свидетельства существования водяного льда на дне Долин Маринера.





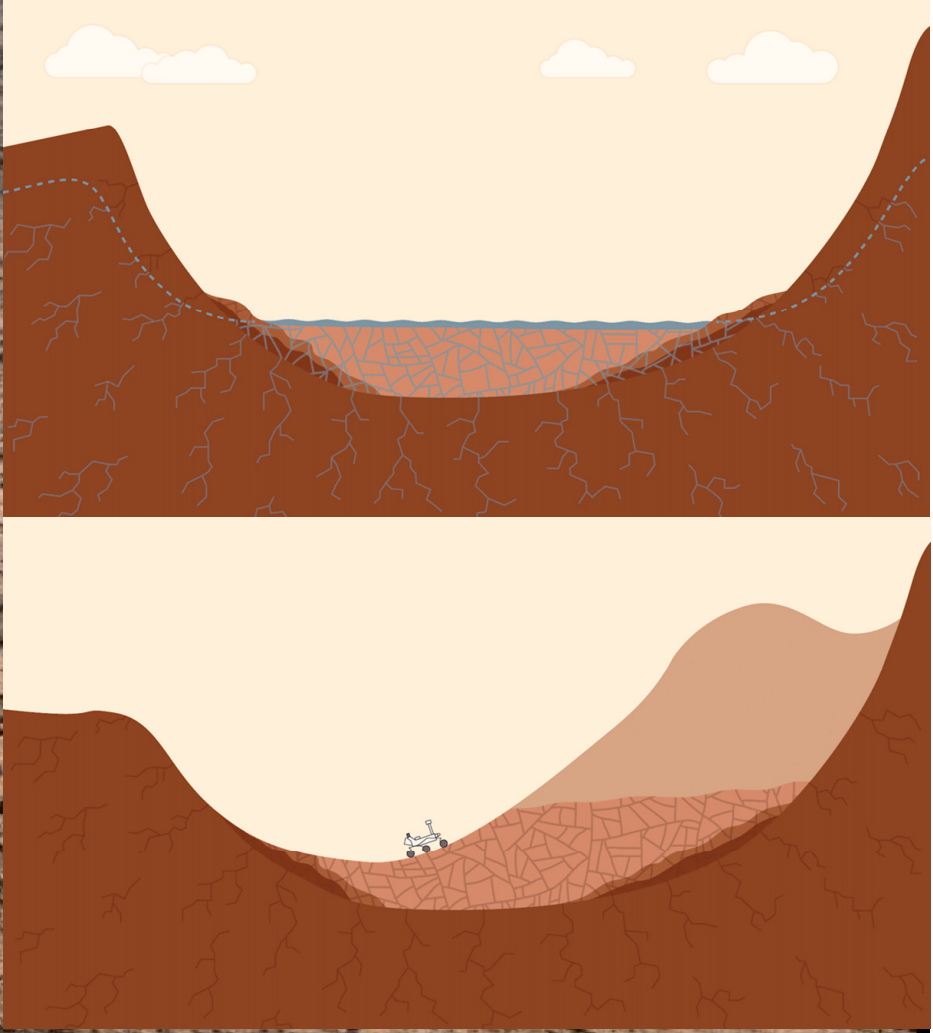
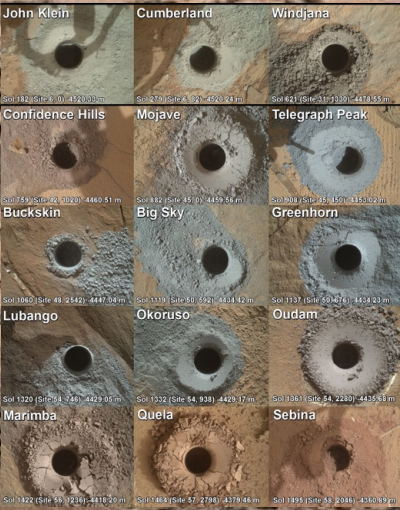
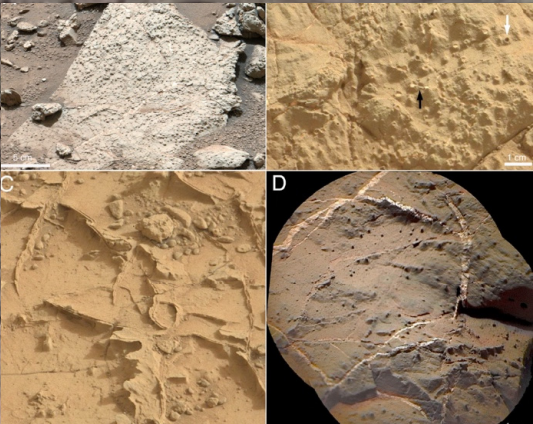
Наблюдения на дне древнего озера в кратере Гейл с борта марсохода Curiosity

Grotzinger J. et al., Science 2014, 2015



- Возраст кратера Гейл составляет 3.6-3.8 миллиарда лет.
- После образования кратер заполнился наносными отложениями привнесёнными в кратер потоками воды.
- Предполагается, что в течение от тысячи до миллиона лет внутри кратера могло образоваться и сохраняться озеро.
- После осушения и последующей ветряной эрозии на склоне центрального пика образовалась стратиграфия слоистых осадочных пород, которые включают озерные отложения, слой гематита, гидратированных глин, сульфатов и золотых отложений, которая получила название Mount Sharp
- В том виде в котором мы сейчас наблюдаем внутренняя структура кратера Гейл сформировалась 3.2 миллиарда лет назад

Древнее озеро в бассейне кратера Гейл



Динамическое Альbedo Нейтронов (ДАН)

ЦЕЛЬ:

Исследование распределения связанной воды и водяного льда в приповерхностном слое марсианского грунта (глубины до 0,5 – 1 м).

ДАН ДЭ:

Использует два детектора ^3He . Измерение 16-канальных спектров тепловых и эпитепловых нейтронов в диапазоне энергий до 100 кэВ.

ДАН ИНГ:

Нейтронный генератор, обеспечивающий импульсную генерацию нейтронов с энергией 14 МэВ и частотой до 10 Гц. За один импульс испускается не менее 10^7 нейтронов.



ДАН ИНГ



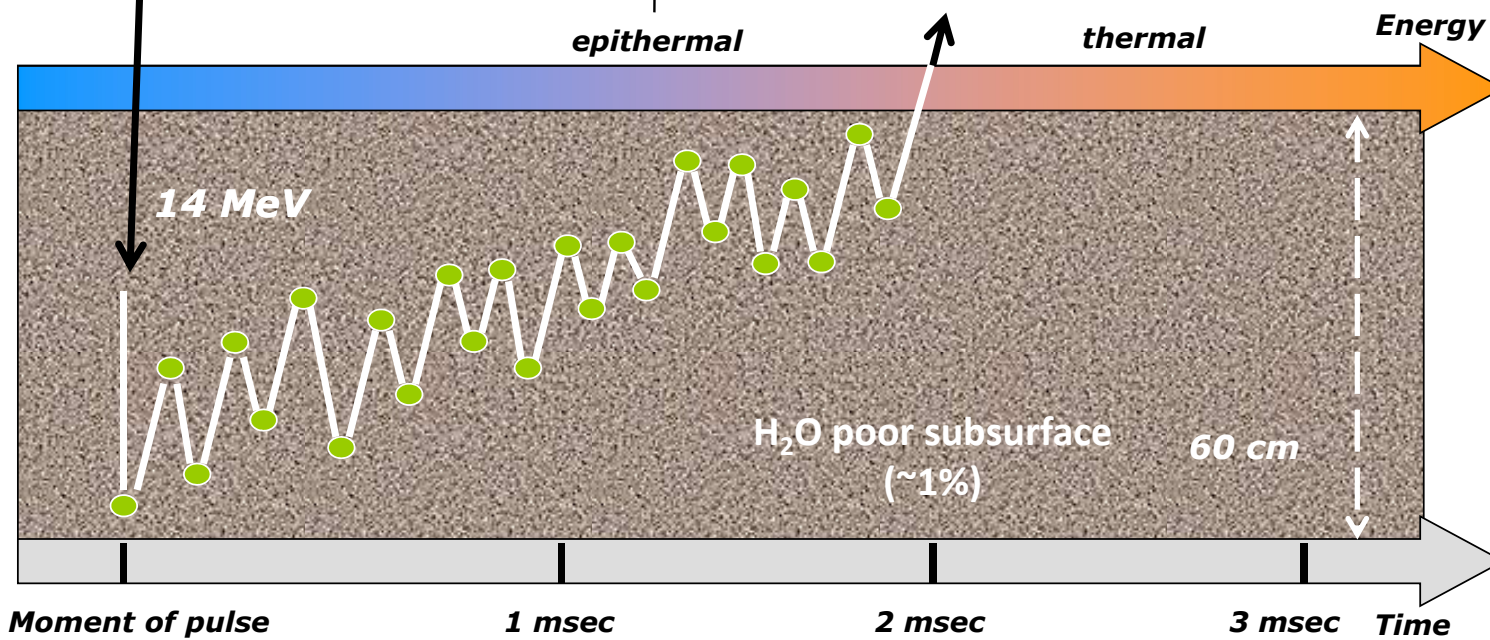
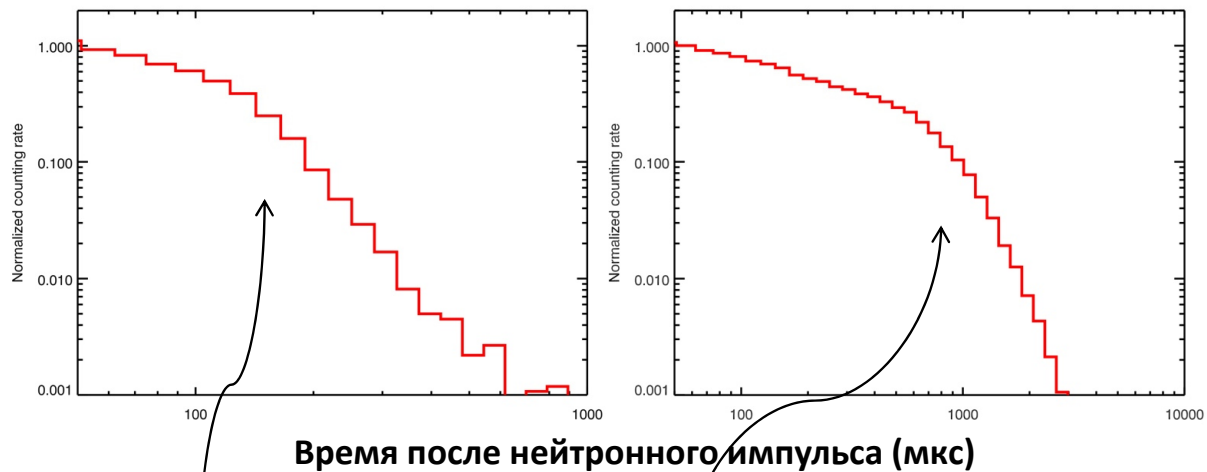
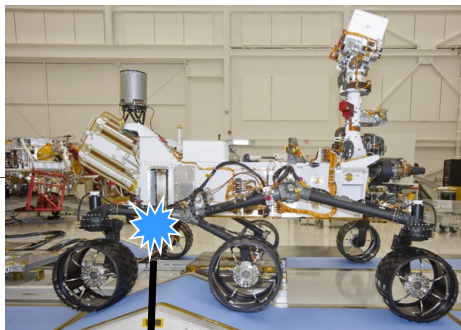
ДАН ДЭ



Поиск воды в кратере Гейл: первый активный нейтронный детектор на поверхности Марса

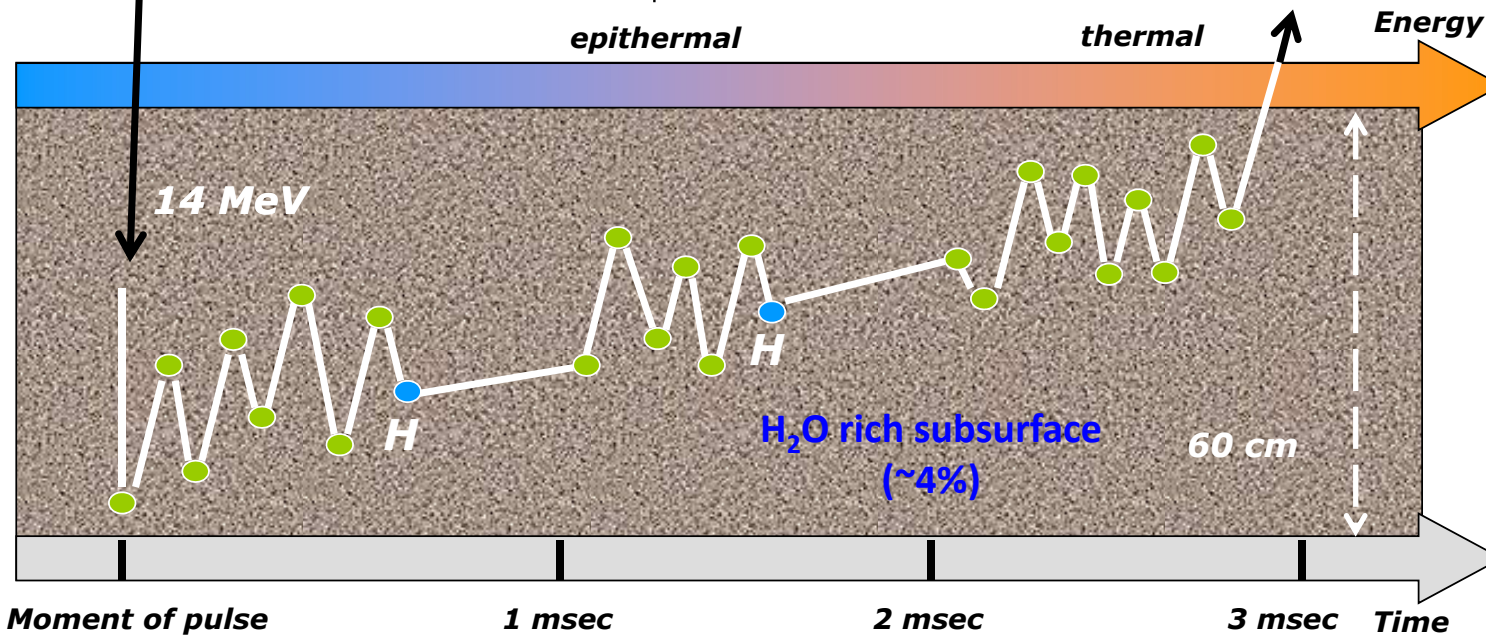
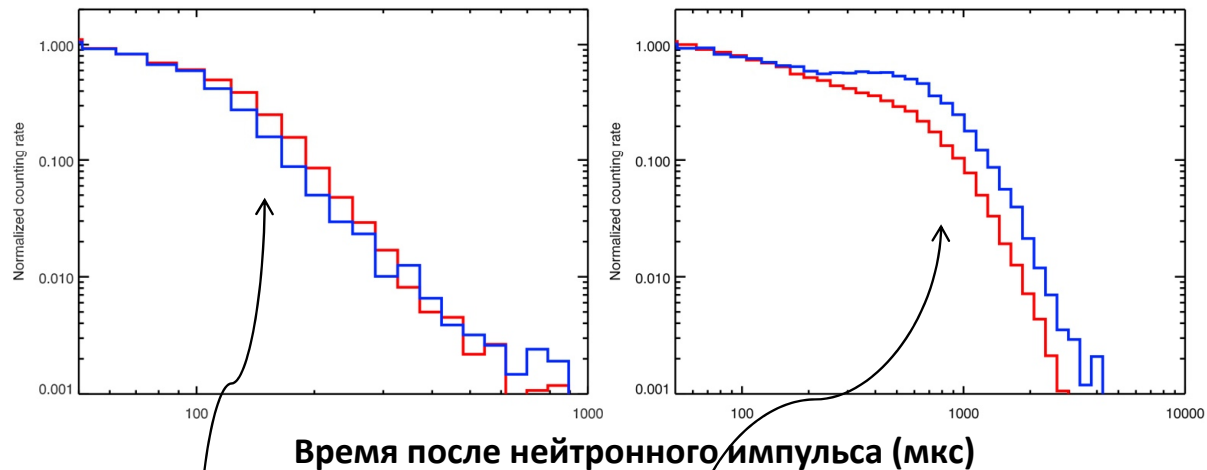
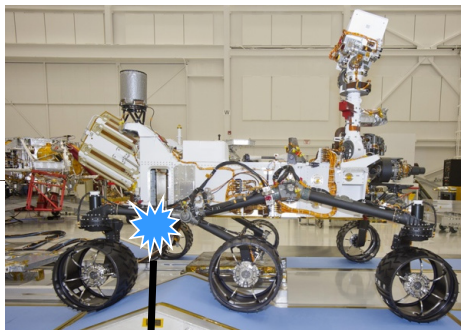


Принцип работы ДАН

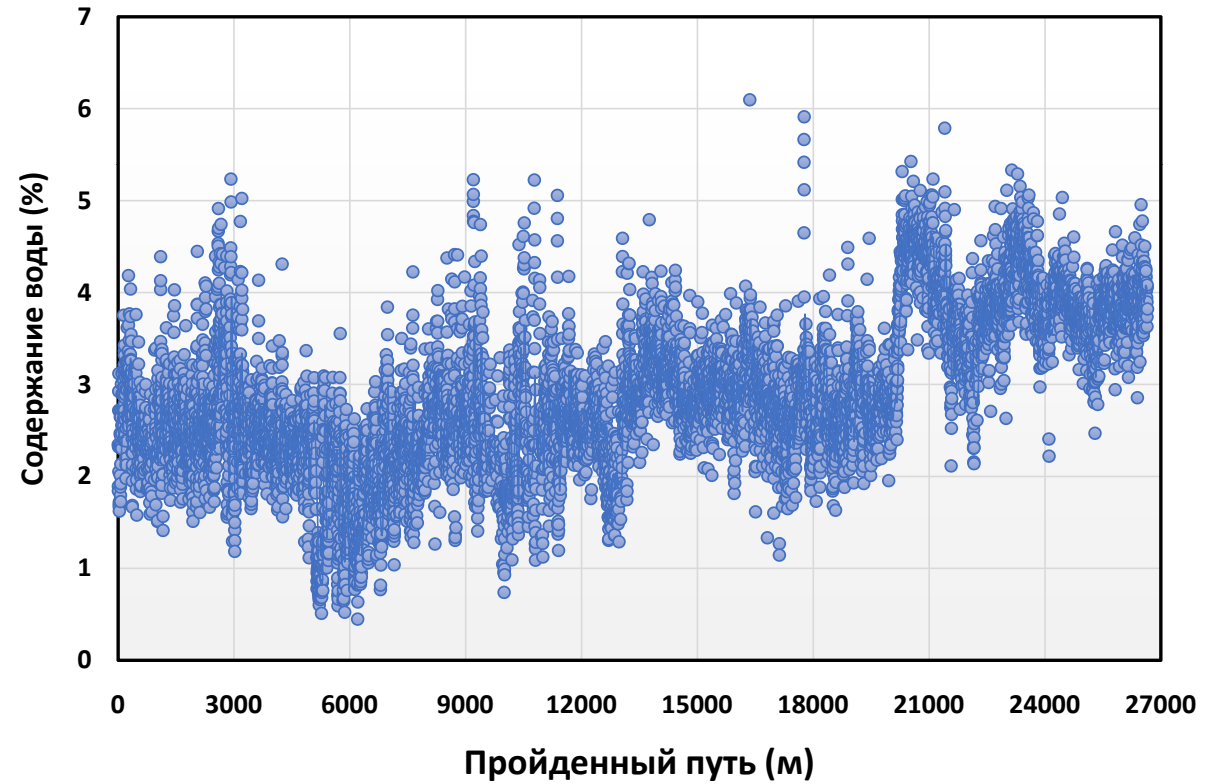
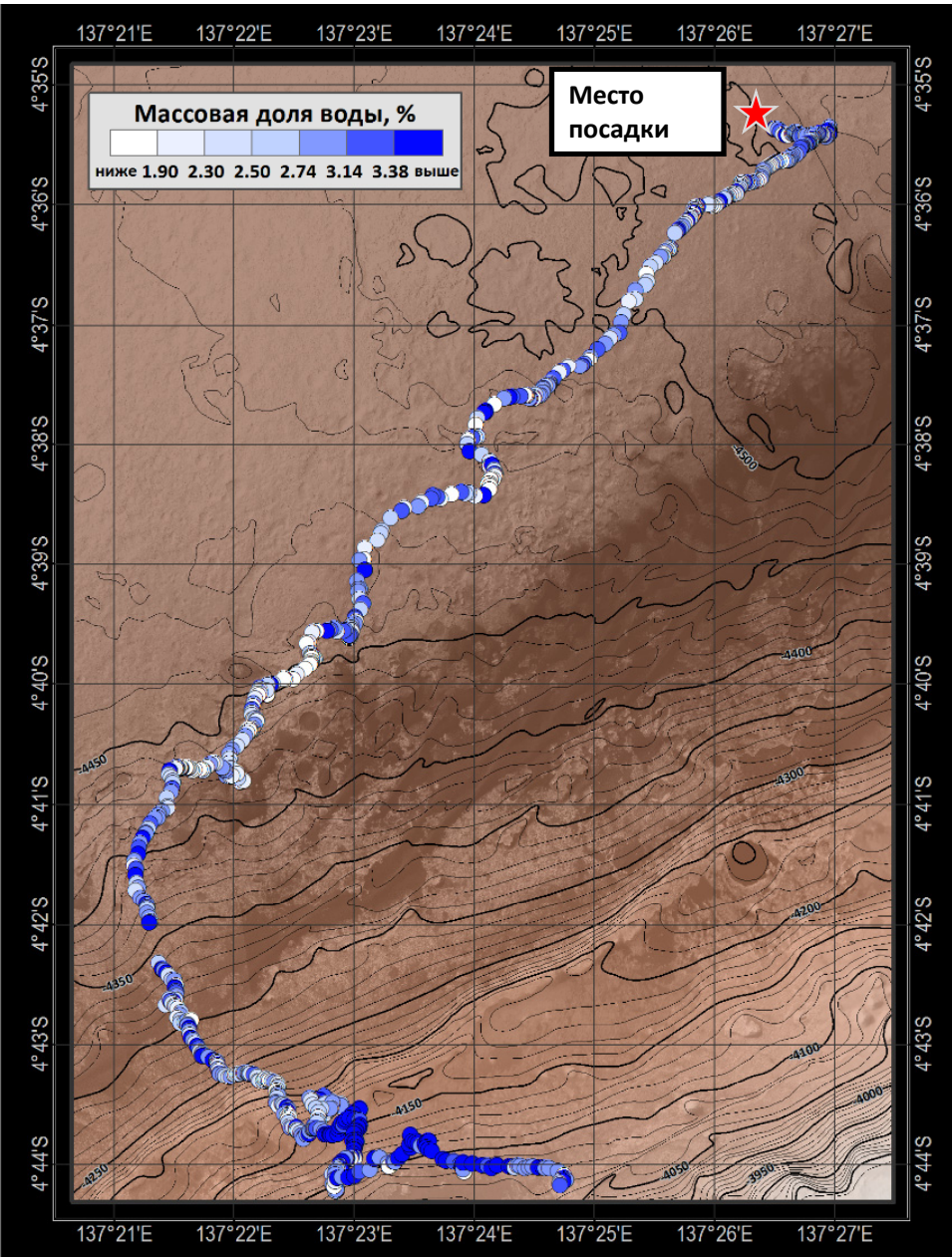


Поиск воды в кратере Гейл: первый активный нейтронный детектор на поверхности Марса

Принцип работы ДАН

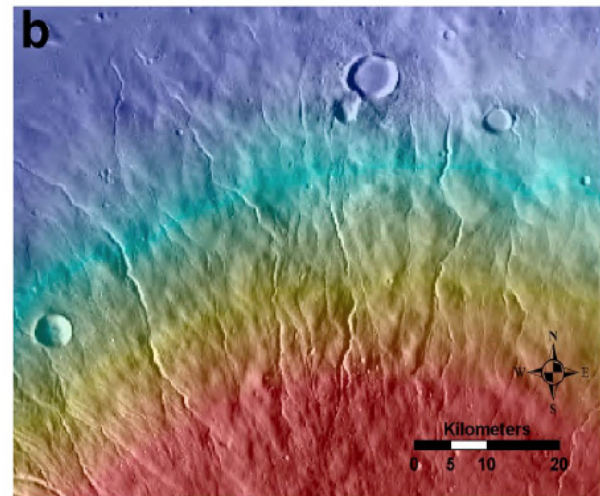


Результаты эксперимента ДАН



Mitrofanov I.G. et al., Journal of Geophysical Research, 2014;
Litvak M.L. et al., Journal of Geophysical Research, 2014;
Nikiforov S.Y. et al., Icarus, 2020

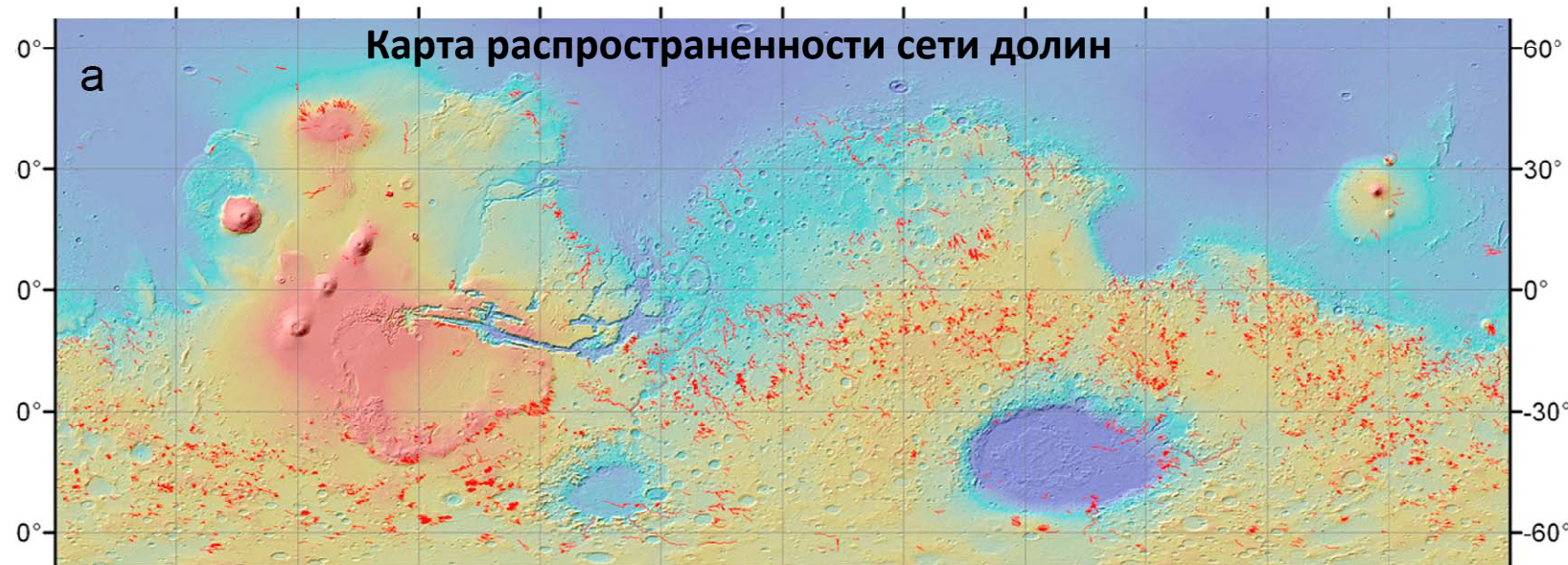
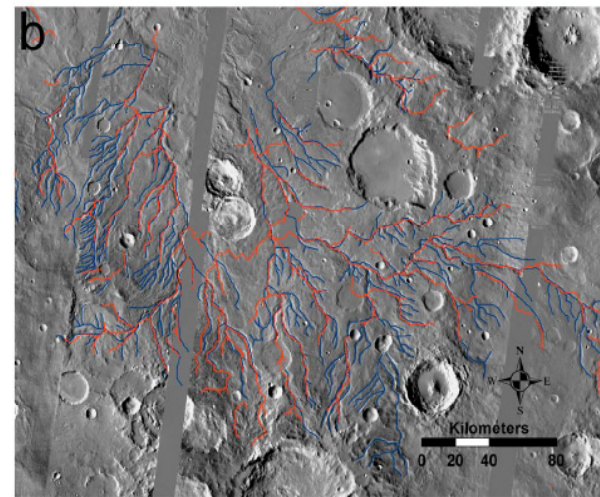
Свидетельства теплого и влажного климата на древнем Марсе



За время наблюдений были обнаружены разветвлённые системы каналов шириной от сотен метров до 20 км и глубиной до сотен метров, распространённые на поверхности Марса.

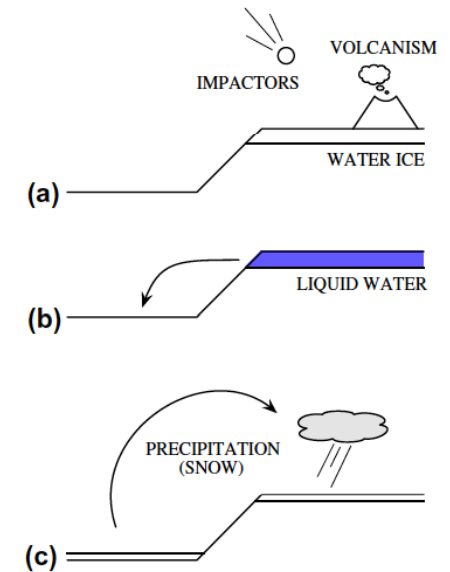
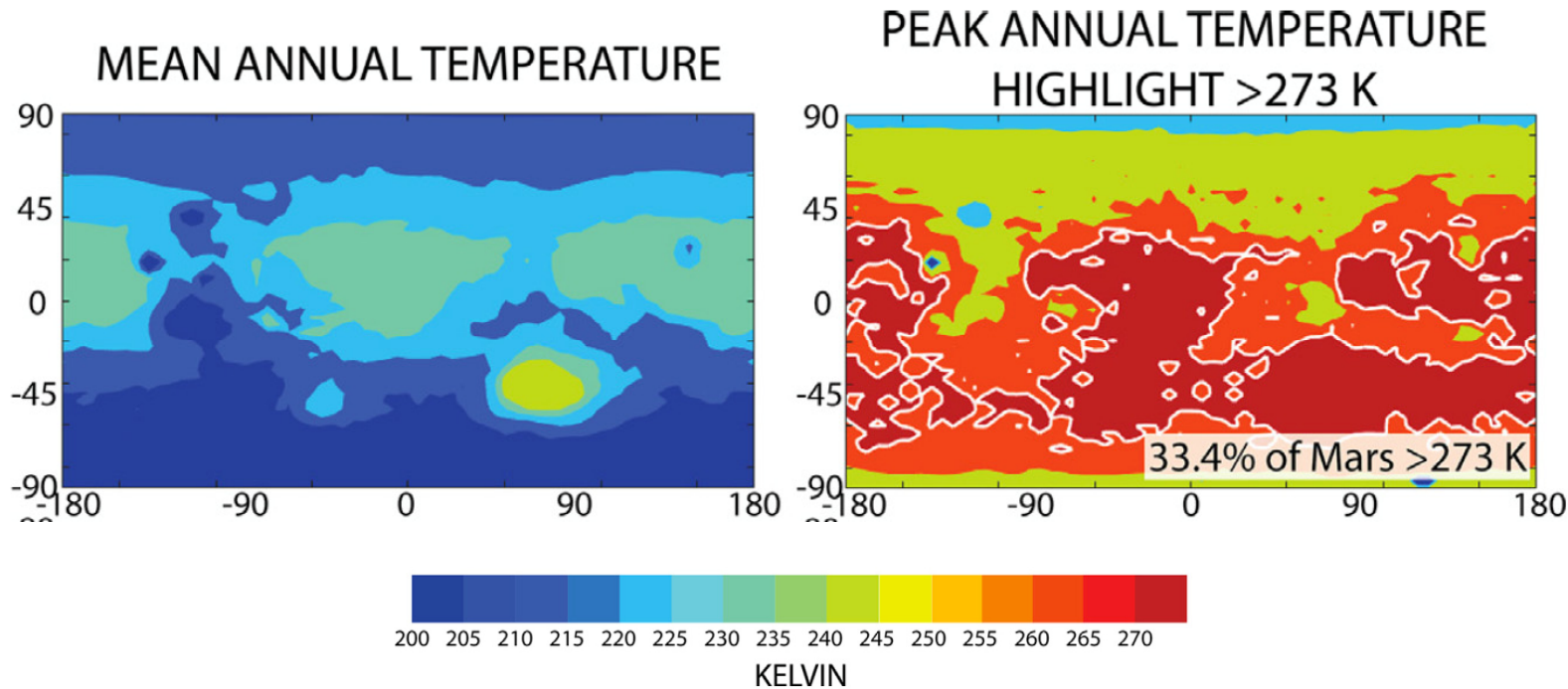
Их возраст датируется 3.6 – 3.8 млрд лет (поздний Нойский период).

Их интерпретируют как свидетельство длительного присутствия жидкой воды на поверхности, сезонов дождей и даже возможно наличия океана.

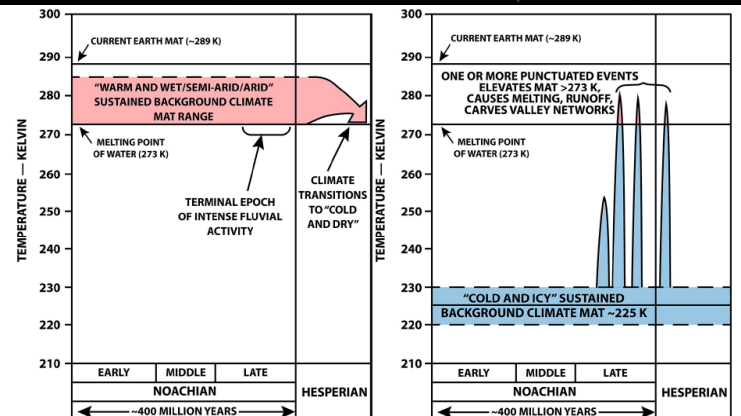
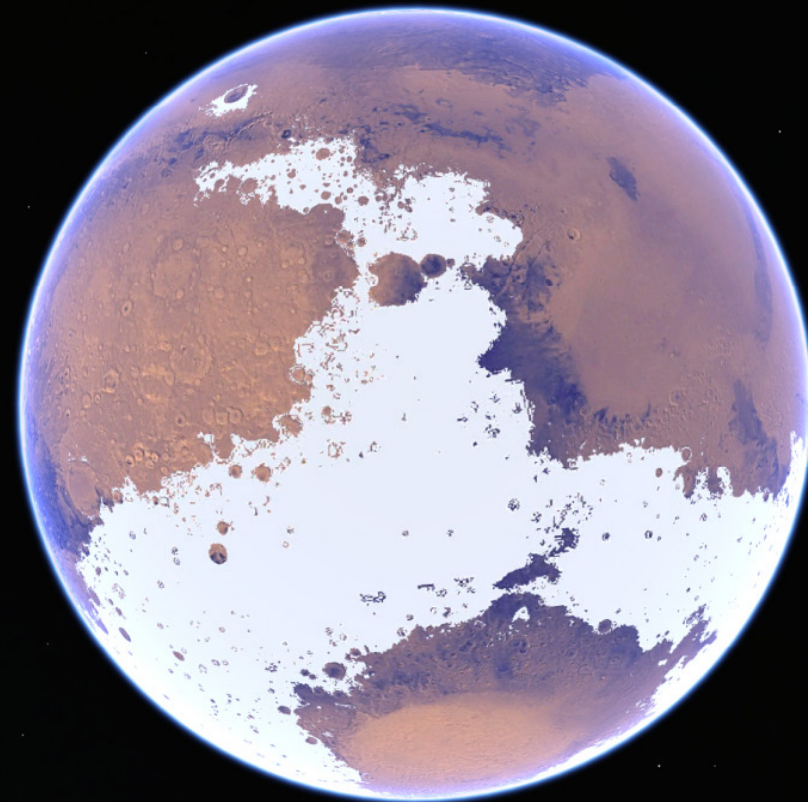
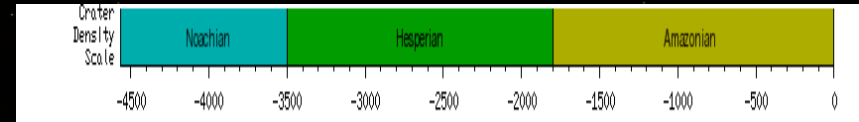
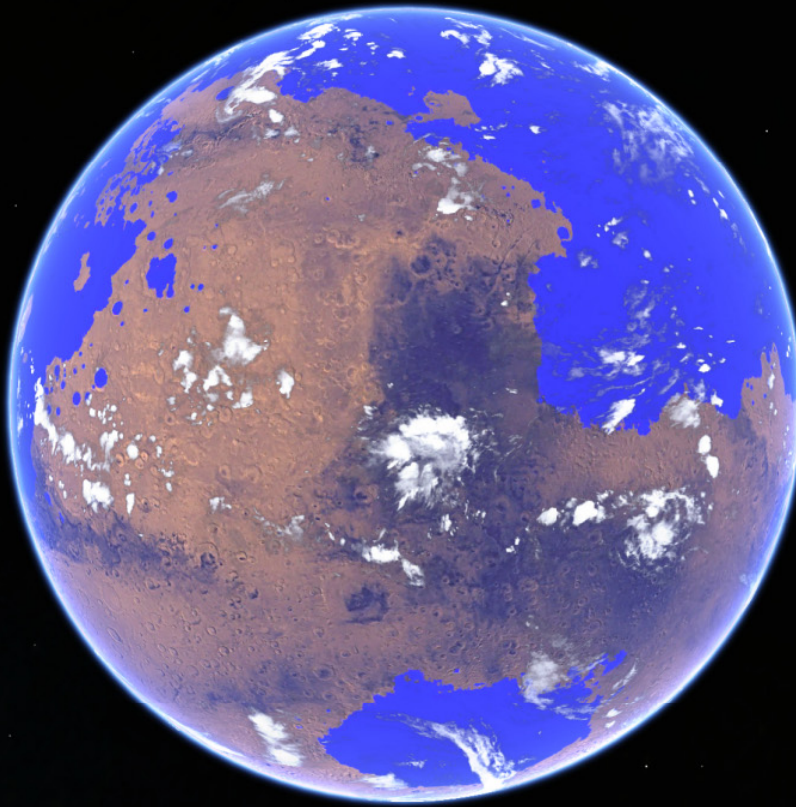


Численное моделирование климата на древнем Марсе

- ❑ Даже при наличии плотной атмосферы, за счет большего удаления от Солнца, средние годовые температуры на Марсе были ниже нуля и исключали существования жидкой воды.
- ❑ Вода сосредоточена в виде ледяного щита на высокогорных южных районах.
- ❑ Рассмотрение различных парниковых газов не позволяет “накачать” парниковый эффект, чтобы разогреть планету.
- ❑ Жидкая вода могла появляться только эпизодически во время таяния ледников либо сезонного, либо вызванного вулканизмом или падением метеоритов



Вода на древнем Марсе Океаны против ледников





Луна

Добыча ресурсов на Луне?

Лунная гонка в 21 веке

Теперь космический клуб включает гораздо больше участников. Кроме США и России свои собственные амбициозные лунные программы имеют еще несколько стран (Китай, Индия, Япония).

Существенно расширился уровень международного сотрудничества. Например в программе НАСА Артемида многие ключевые элементы будут создавать ЕКА, канадское и японское космические агентства.

Принципиально новый уровень технологий: новые материалы, электронная база, компьютерное моделирование, роботизация, возможность применения искусственного интеллекта.

Появился “космический рынок”. Для реализации автоматических и пилотируемых миссий лунной программы активно привлекаются крупные частные компании.

Параллельно с лунной программой запущена программа поиска и использования лунных ресурсов для строительства и функционирования постоянных лунных баз.

Планы по дальнейшей экспансии (экспедиция к Марсу) требуют отработки соответствующих технологий, включая длительное пребывание космонавтов на поверхности другого небесного тела.

- 1. Человечество по своей природе не может жить в изолированной системе. В конце концов люди захотят выйти через «закрытую дверь». Так было с известными путешественниками и мореплавателями. Сейчас пришло время космической экспансии.**
- 2. Человечество не может позволить себе существовать только в одной локации и должно колонизировать и распространять ареал своего обитания на другие планеты. Иначе рано или поздно оно может одновременно погибнуть из-за какого либо катастрофического события (например столкновение Земли с астероидом).**
- 3. Луна выглядит идеальным первым форпостом на пути космической экспансии. Она находится в 1000 раз дальше чем орбита МКС, но при этом все еще в нескольких днях космического полета и в пределах прямой радиосвязи (без задержек). Так что если что-то пойдет «не так» можно успеть вовремя среагировать и вернуть космонавтов на Землю.**
- 4. На Луне можно отработать все необходимые технологии для дальнейшей экспансии (например к Марсу) и изучить все аспекты длительного пребывания космонавтов вдали от Земли.**
- 5. Научные исследования с помощью космонавтов на поверхности Луны (и особенно в полярных районах) позволит получить «кладезь» научных данных о формировании Солнечной системы и возможно о происхождении жизни.**

ARTEMIS PREPARES FOR MARS

Мы построим базовый лагерь Артемиды на поверхности Луны и орбитальную станцию Gateway на лунной орбите. Эти элементы позволят нашим роботам и астронавтам исследовать больше и проводить больше научных исследований, чем когда-либо прежде.

mission rehearsal with
in-space
mission durations

Lunar Terrain Vehicle

Surface Habitat

Habitable
Mobility Platform

SUSTAINABLE LUNAR ORBIT STAGING CAPABILITY AND SURFACE EXPLORATION

MULTIPLE SCIENCE AND CARGO PAYLOADS | INTERNATIONAL PARTNERSHIP OPPORTUNITIES | TECHNOLOGY AND OPERATIONS DEMONSTRATIONS FOR MARS

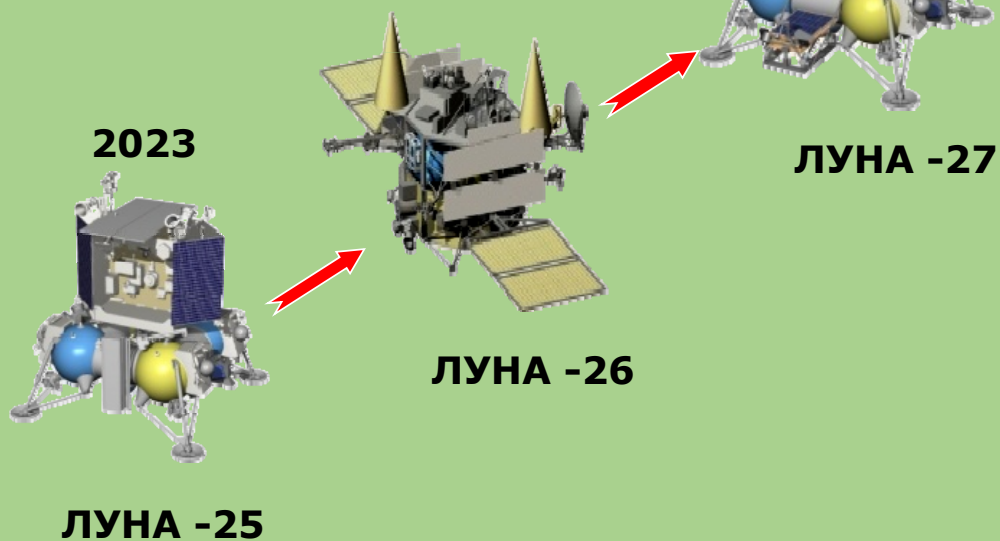
Федеральная космическая программа 2016 - 2025

Изучение минералогического, химического, изотопного состава лунного реголита, а также поиск летучих соединений.

Изучение взаимодействия солнечного ветра и лунной поверхности, наблюдение за пылевой составляющей лунной экзосферы.

Изучение динамических процессов, включая измерение вариаций температур грунта и свойств летучих соединений на разной глубине (до 2 м).

Изучение внутренней структуры Луны



Будущая космическая программа 2025+



ЛУНА -29

ЛУНА -28

2025 – 2035: Совместные
автоматические и
пилотируемые миссии



Дорожная карта по созданию международной лунной исследовательской станции

ILRS Development Phases and Mission Profile

The construction of ILRS is carried out in three phases:
Reconnaissance, Construction, Utilization.



Возвращение человека на Луну и создание постоянной лунной базы включает поиск и разработку лунных ресурсов:

Задача №1 = Поиск лунных ресурсов необходимых для поддержания длительного пребывания космонавтов на ограниченном участке поверхности (лунный форпост)

Задача № 2 = Промышленная разработка лунных ресурсов для создания постоянной лунной инфраструктуры на поверхности (лунная база)и в окололунном пространстве (станция)

Задача № 3 = Потенциальное использование лунных ресурсов и лунных технологий для дальнейшей экспансии в космос (Подготовка марсианских экспедиций)

Задача № 4 = Использование лунных ресурсов на Земле, если будет доказано, что это экономически оправдано



В список наиболее востребованных лунных ресурсов входят вода и ее составляющие водород и кислород, необходимые для обеспечения астронавтов воздухом, водой и ракетным топливом

По последним оценкам для промышленного использования необходим доступ к залежам водяного льда с концентрацией не менее 0.5% по массовой доле.

Современные данные не дают однозначный ответ как локально распределен водяной лед по лунной поверхности и по глубине.

Непонятно сколько его может находиться в самых верхних слоях лунного грунта доступных для промышленного использования

Насколько простой будет логистика по его добыче.

Поэтому требуется верификация наиболее перспективных локаций непосредственно на месте.



