



# Ядерная планетология

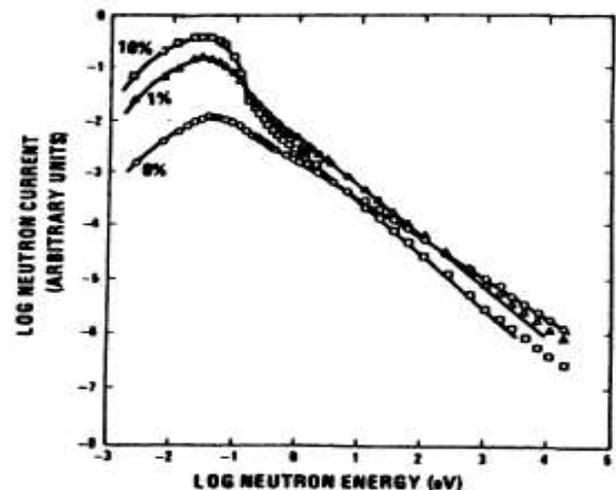
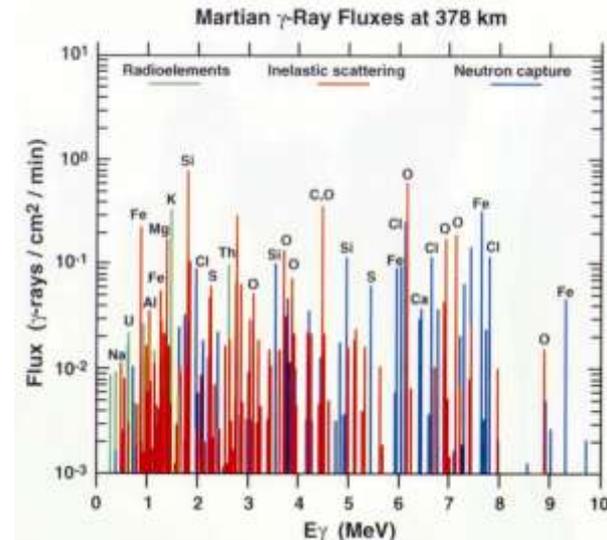
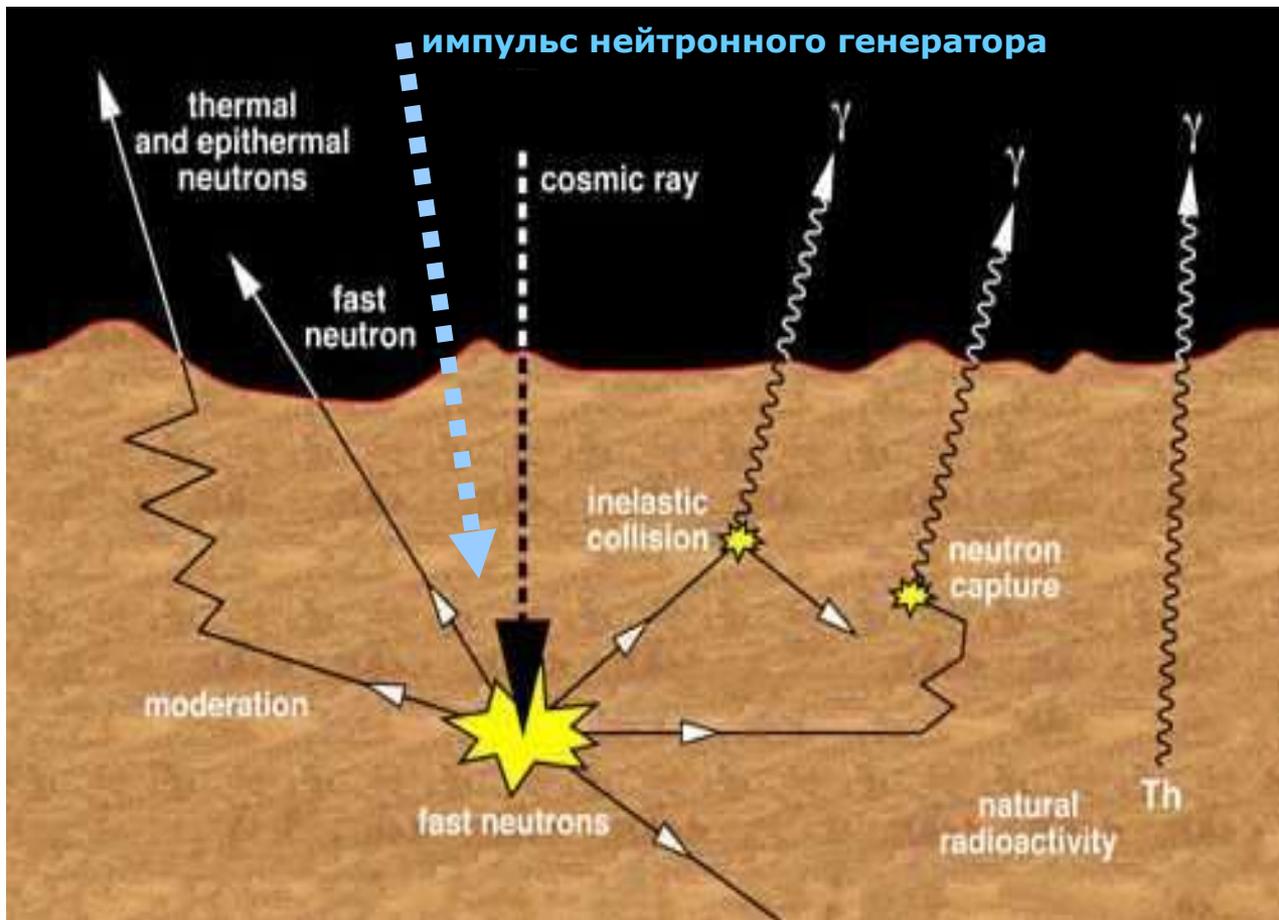
*И.Г.Митрофанов*

**Институт космических исследований РАН**

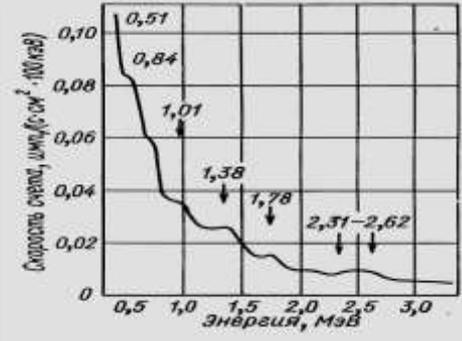
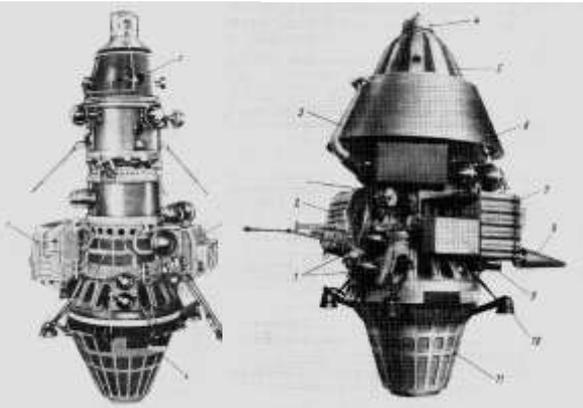
	<p><b>Институт космических исследований РАН, г.Москва</b></p>
	<p><b>Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна</b></p>
	<p><b>Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского, г. Москва</b></p>
 <p>ВНИИА</p>	<p><b>Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л.Духова, г. Москва</b></p>
 <p>НИИАР</p>	<p><b>Научно-исследовательский институт физики атомных реакторов, г. Дмитроград</b></p>
 <p>ИМАШ РАН</p>	<p><b>Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, г. Москва</b></p>

# Ядерное излучение с поверхности Луны, Марса других небесных тел без атмосферы возникает под воздействием космических лучей или энергичных нейтронов от генератора

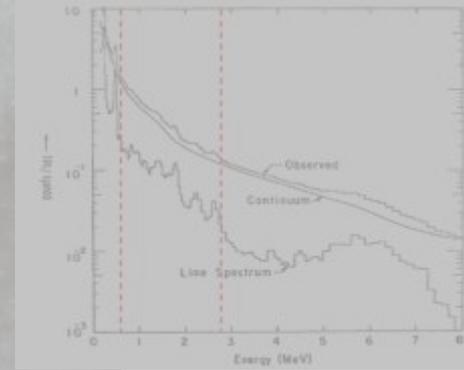
импульс нейтронного генератора



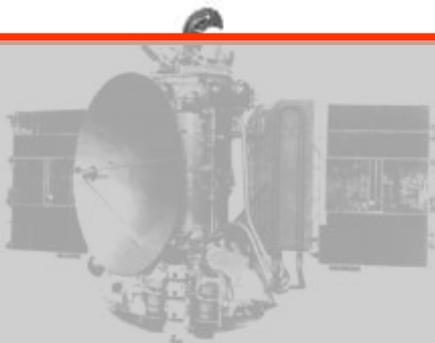




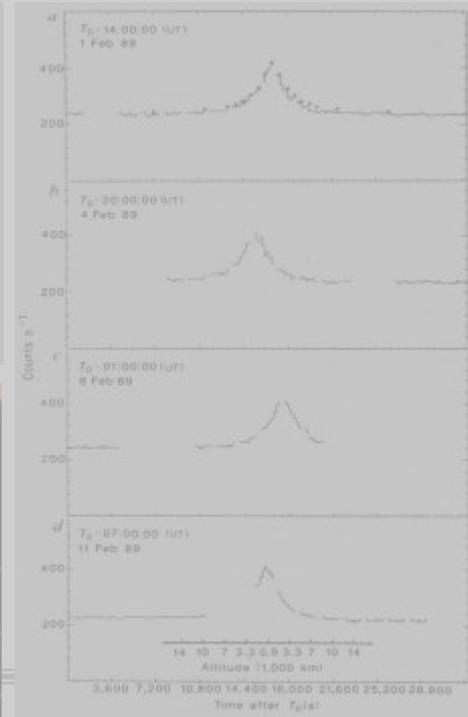
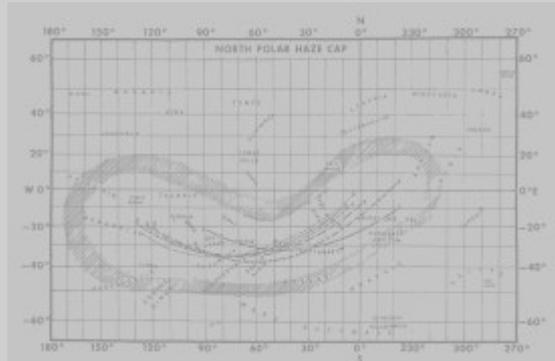
**Луна-10 и -12: Акад. А.П.Виноградов, Ю.А. Сурков и др. (1966)**



**Аполлон-15 и -16: И.Адлер и др. (1973)**



**Марс-5: Ю.А. Сурков и др. (1974)**

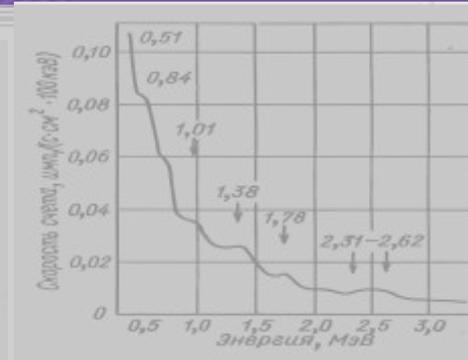
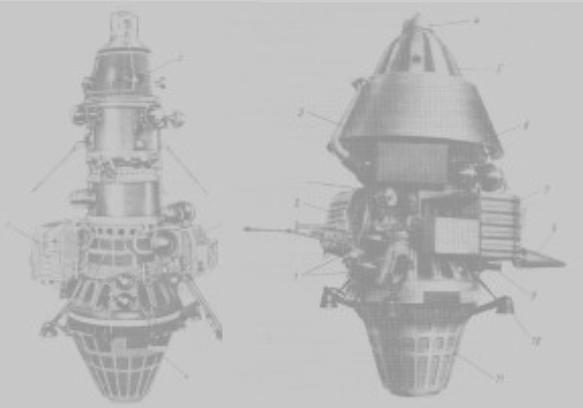


**Марс Обсервер (1992)**

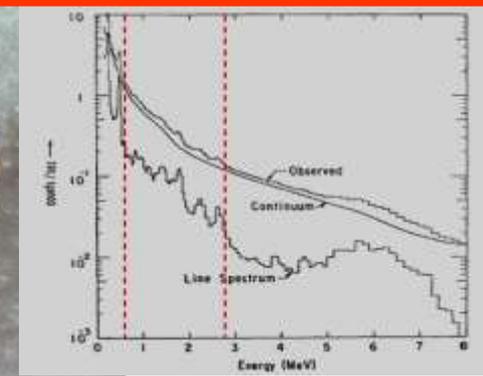
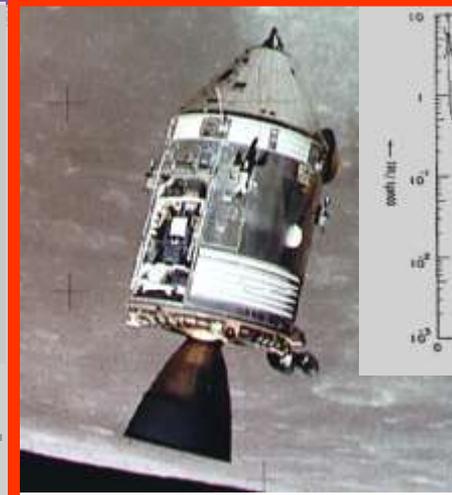
**Проект Фобос: Ю.А. Сурков, И.Г.Митрофанов К.Бара и др. (1989)**



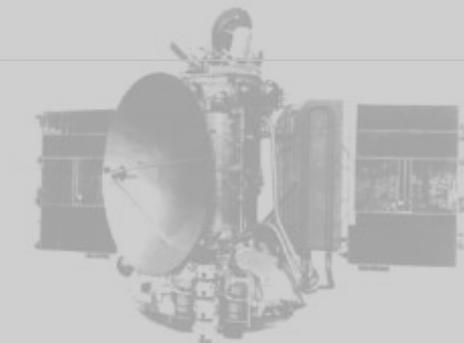
**Марс-96**



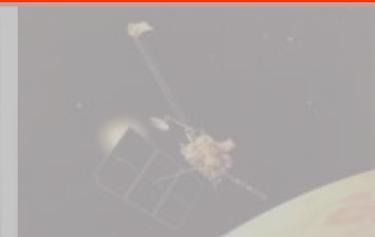
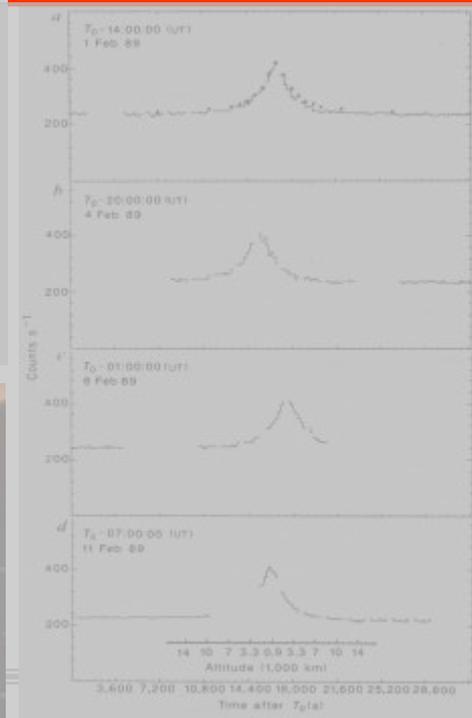
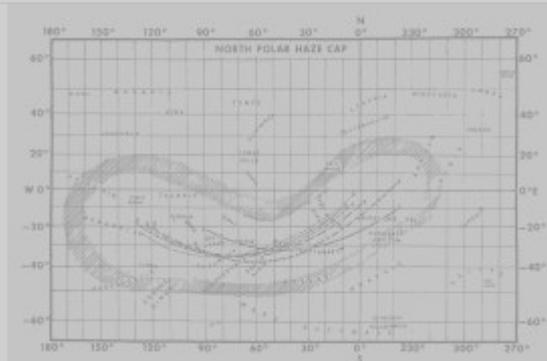
Луна-10 и -12: Акад. А.П.Виноградов, Ю.А. Сурков и др. (1966)



Аполлон-15 и -16: И.Адлер и др. (1973)



Марс-5: Ю.А. Сурков и др. (1974)



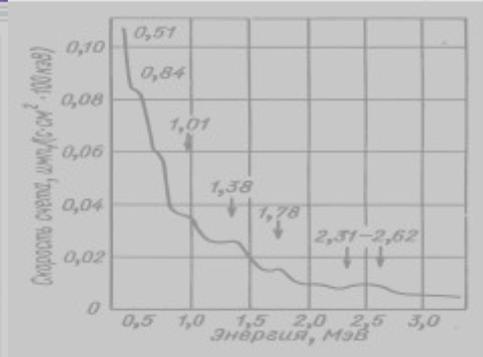
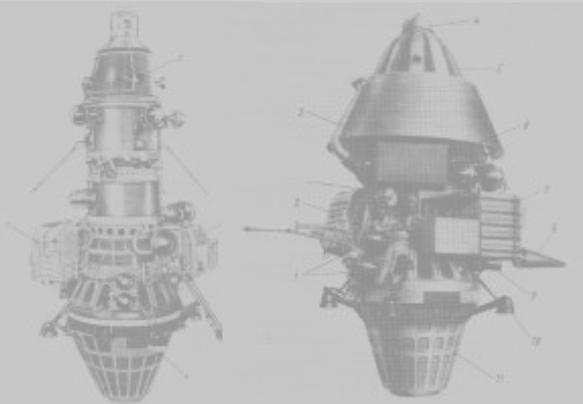
Марс Обсервер (1992)

Проект Фобос: Ю.А. Сурков, И.Г.Митрофанов К.Бара и др. (1989)

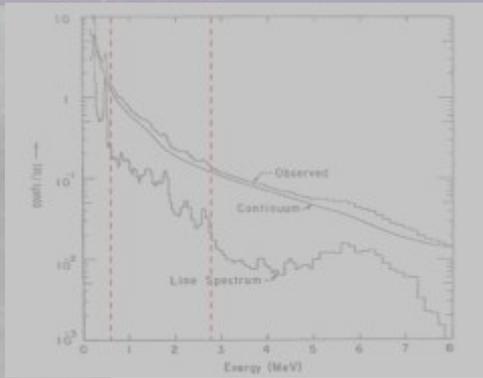


Марс-96

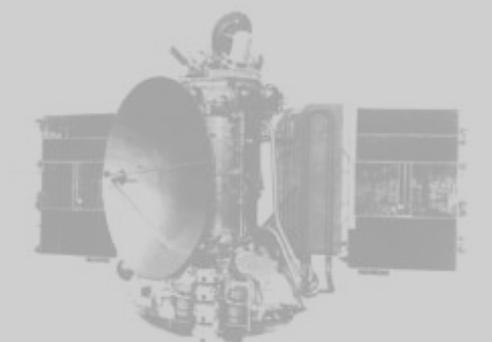




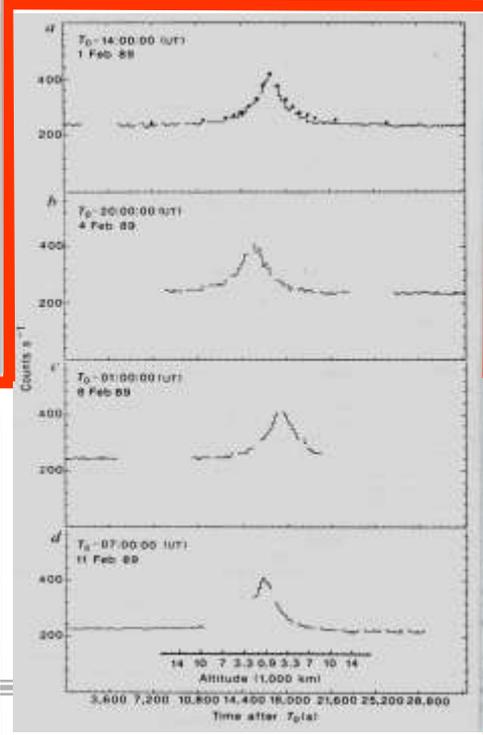
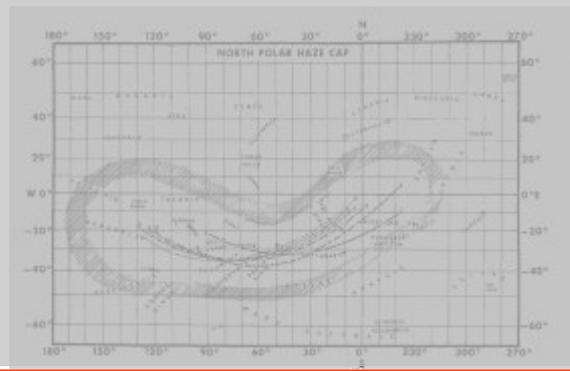
Луна-10 и -12: Акад. А.П.Виноградов, Ю.А. Сурков и др. (1966)



Аполлон-15 и -16: И.Адлер и др. (1973)



Марс-5: Ю.А. Сурков и др. (1974)

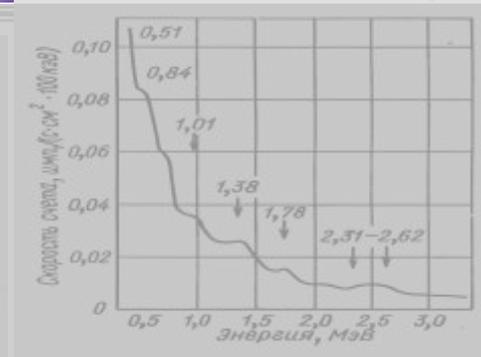
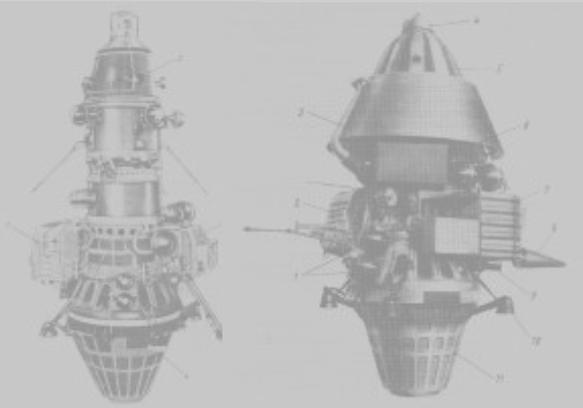


Марс Обсервер (1992)

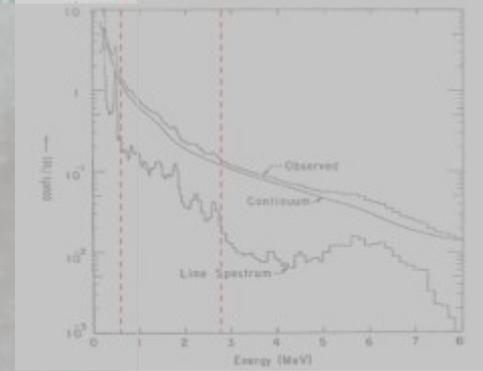
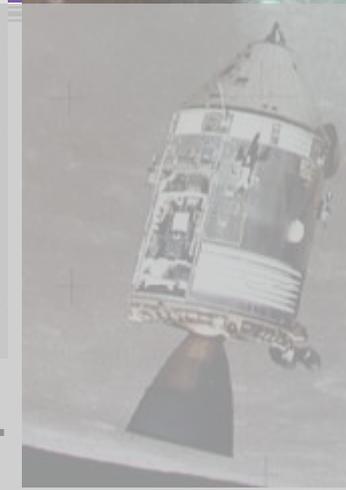
**Проект Фобос:**  
**Ю.А. Сурков,**  
**И.Г.Митрофанов**  
**К.Бара и др.**  
**(1989)**



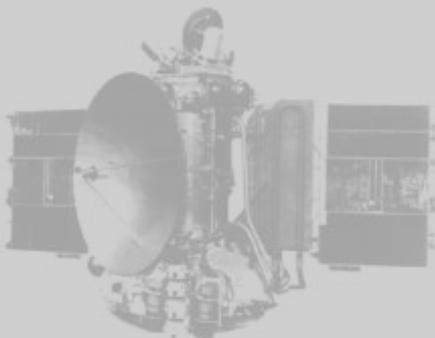
Марс-96



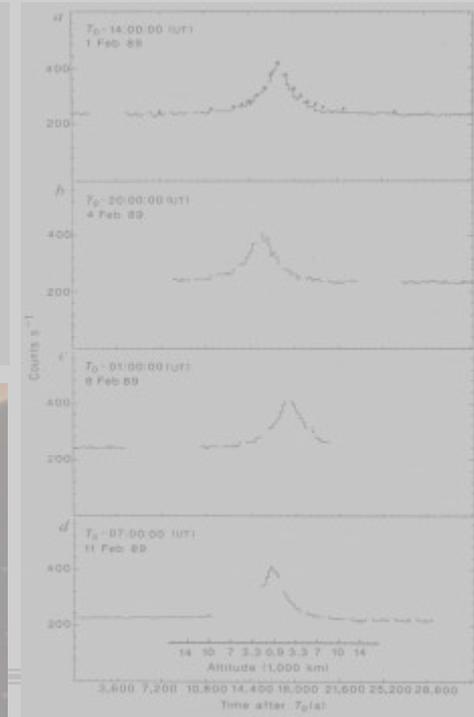
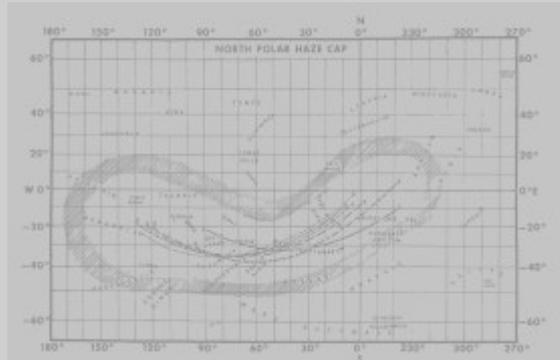
Луна-10 и -12: Акад. А.П.Виноградов, Ю.А. Сурков и др. (1966)



Аполлон-15 и -16: И.Адлер и др. (1973)



Марс-5: Ю.А. Сурков и др. (1974)

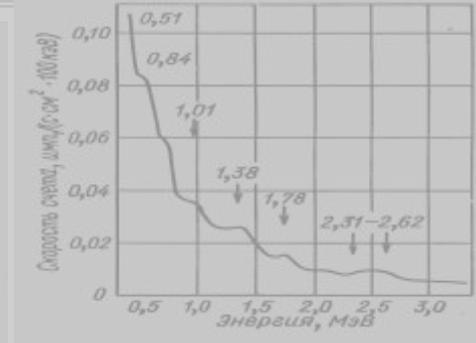
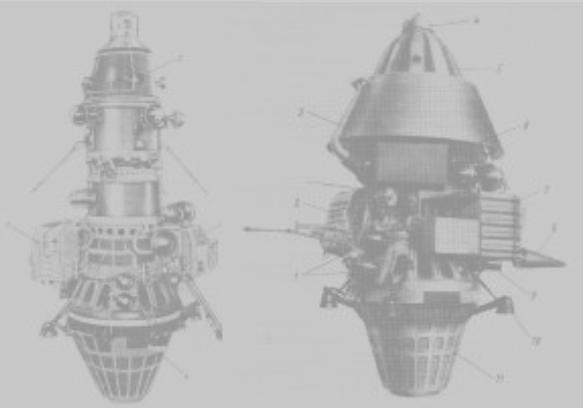


Марс Обсервер (1992)

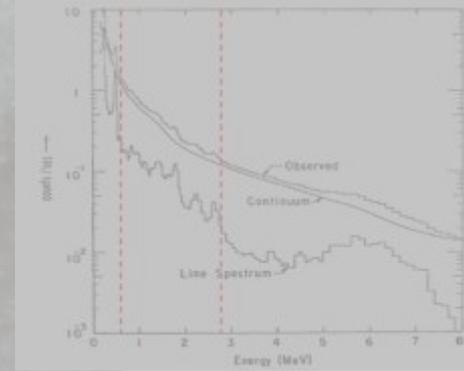
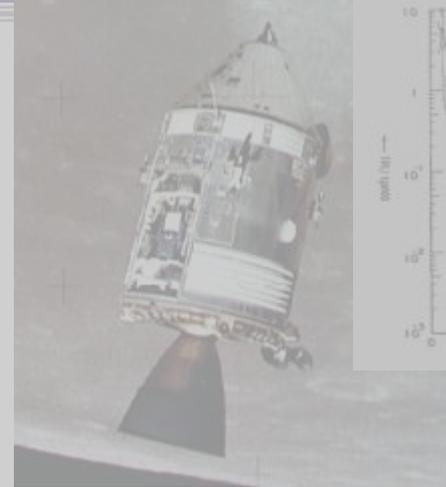
Проект Фобос: Ю.А. Сурков, И.Г.Митрофанов К.Бара и др. (1989)



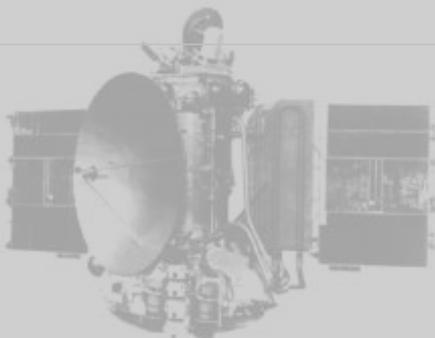
Марс-96



Луна-10 и -12: Акад.  
А.П.Виноградов, Ю.А.  
Сурков и др. (1966)

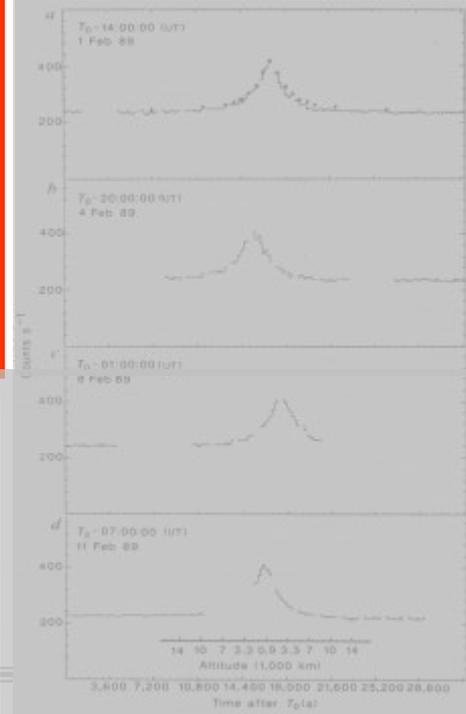


Аполлон-15 и  
-16: И.Адлер и  
др. (1973)



Марс-5: Ю.А. Сурков  
и др. (1974)

**Проект NEAR по анализу  
астероида Эрос (1999)**

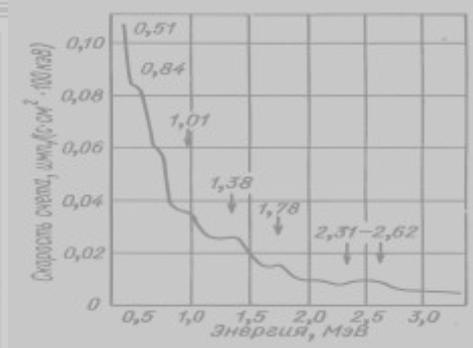
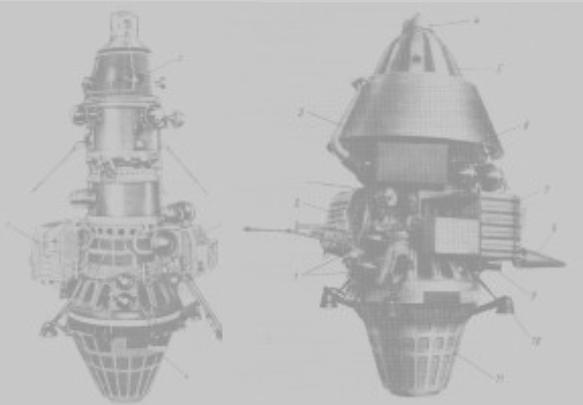


Марс Обсервер  
(1992)

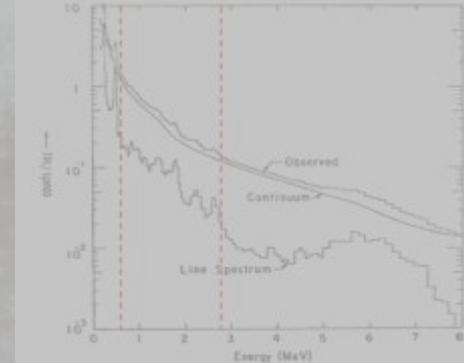
Проект Фобос:  
Ю.А. Сурков,  
И.Г.Митрофанов  
К.Бара и др.  
(1989)



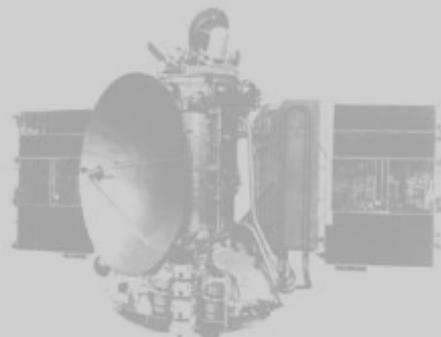
Марс-96



Луна-10 и -12: Акад.  
А.П.Виноградов, Ю.А.  
Сурков и др. (1966)



Аполлон-15 и  
-16: И.Адлер и  
др. (1973)



Марс-5: Ю.А. Сурков  
и др. (1974)

Проект NEAR по анализу  
астероида Эрос (1999)



Проект Лунар  
Проспектор до  
глобальному  
анализу  
Луны (1998-99)



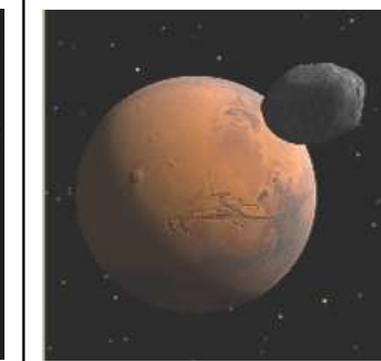
Марс Обсервер  
(1992)

Проект Фобос:  
Ю.А. Сурков,  
И.Г.Митрофанов  
К.Бара и др.  
(1989)



Марс-96

## Космические проекты ядерной планетологии

				
	<b>Venera's and VEGA's</b>	<b>Surface data</b>	<b>Luna-10, -12 Apollo-15, -16 Lunar Prospector Kaguya</b>	<b>Mars-5 Phobos-2</b>
<b>Messenger</b>		<b>BTN-Neutron</b>	<b>Lunar Reconnaissance Orbiter</b>	<b>Mars Odyssey  Mars Science Laboratory</b>
<b>BeppiColombo</b>	<b>SAGE</b>	<b>BTN-Neutron-2</b>	<b>Luna-Glob (L-25)  Luna-Resource (L-27)</b>	<b>ExoMars 2016  ExoMars 2018</b>

## Космические проекты ядерной планетологии

	Venera's and VEGA's	Surface data	Luna-10, -12 Apollo-15, -16 Lunar Prospector Kaguya	<b>Mars-5</b> <b>Phobos-2</b>
Messenger		BTN-Neutron	Lunar Reconnaissance Orbiter	<b>Mars Odyssey</b> <b>Mars Science Laboratory</b>
BeppiColombo	SAGE	BTN-Neutron-2	Luna-Glob (L-25)  Luna-Resource (L-27)	<b>ExoMars 2016</b> <b>ExoMars 2018</b>



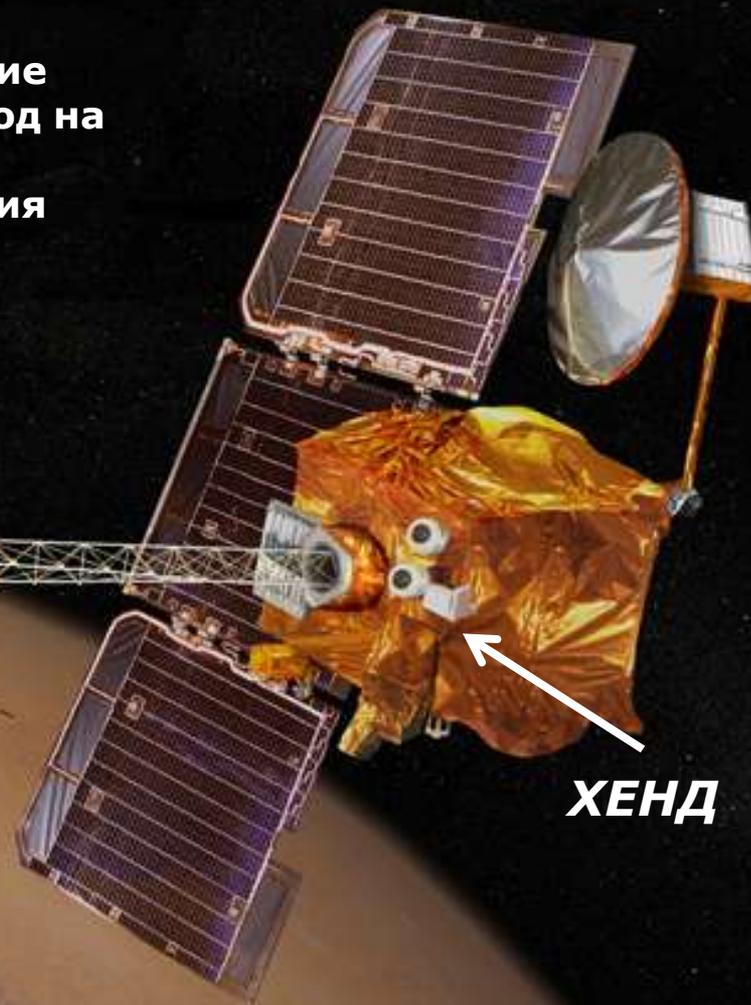
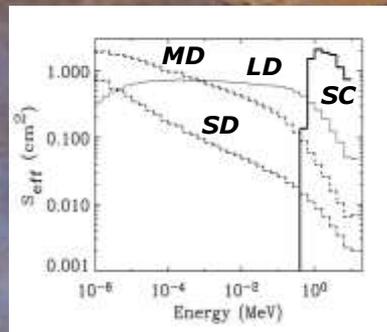
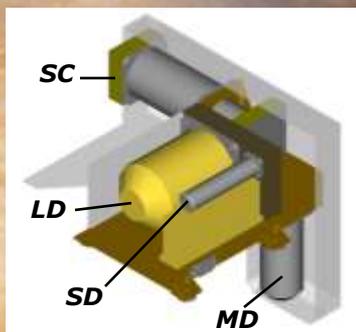
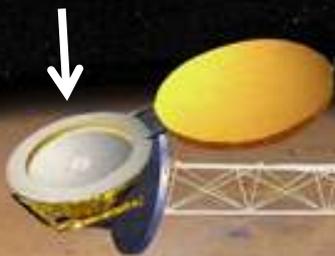
## **ЗАДАЧИ АНАЛИЗА МАРСА ЯДЕРНЫМИ МЕТОДАМИ:**

- (1) Распространенность на Марсе естественных радиоактивных изотопов К, Th и U**
- (2) Распространенность на Марсе основных элементов и породообразующих минералов**
- (3) Оценка содержания воды в веществе на пределах полярных районов**
- (4) Сезонные вариации природной среды Марса**
- (5) Происхождение спутников Марса Фобоса и Деймоса**
- (6) Радиационный фон на поверхности Марса**

## Космический аппарат НАСА «Марс Одиссей» с прибором ХЕНД

- 1997-2001 – разработка и изготовление
- 2001-2002 – перелет к Марсу и переход на полярную орбиту
- 2002-н/в – орбитальные наблюдения

ГРС

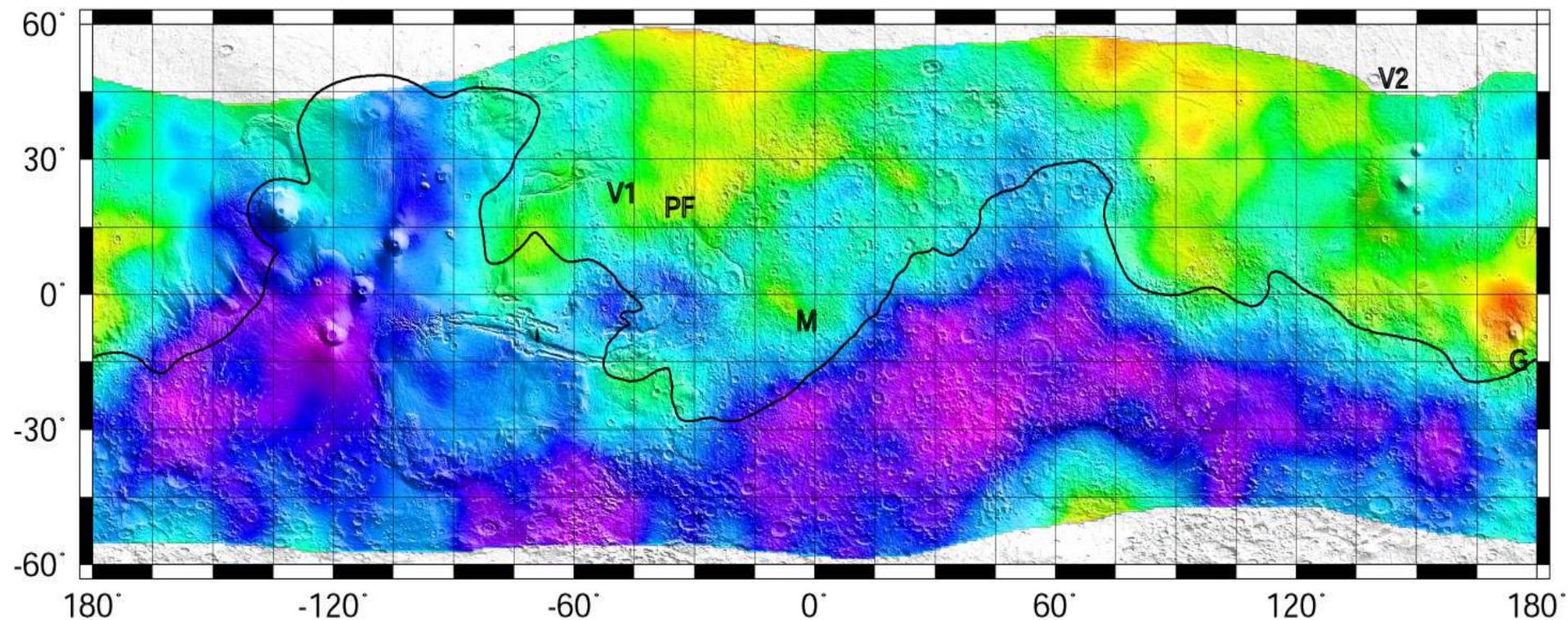


ХЕНД

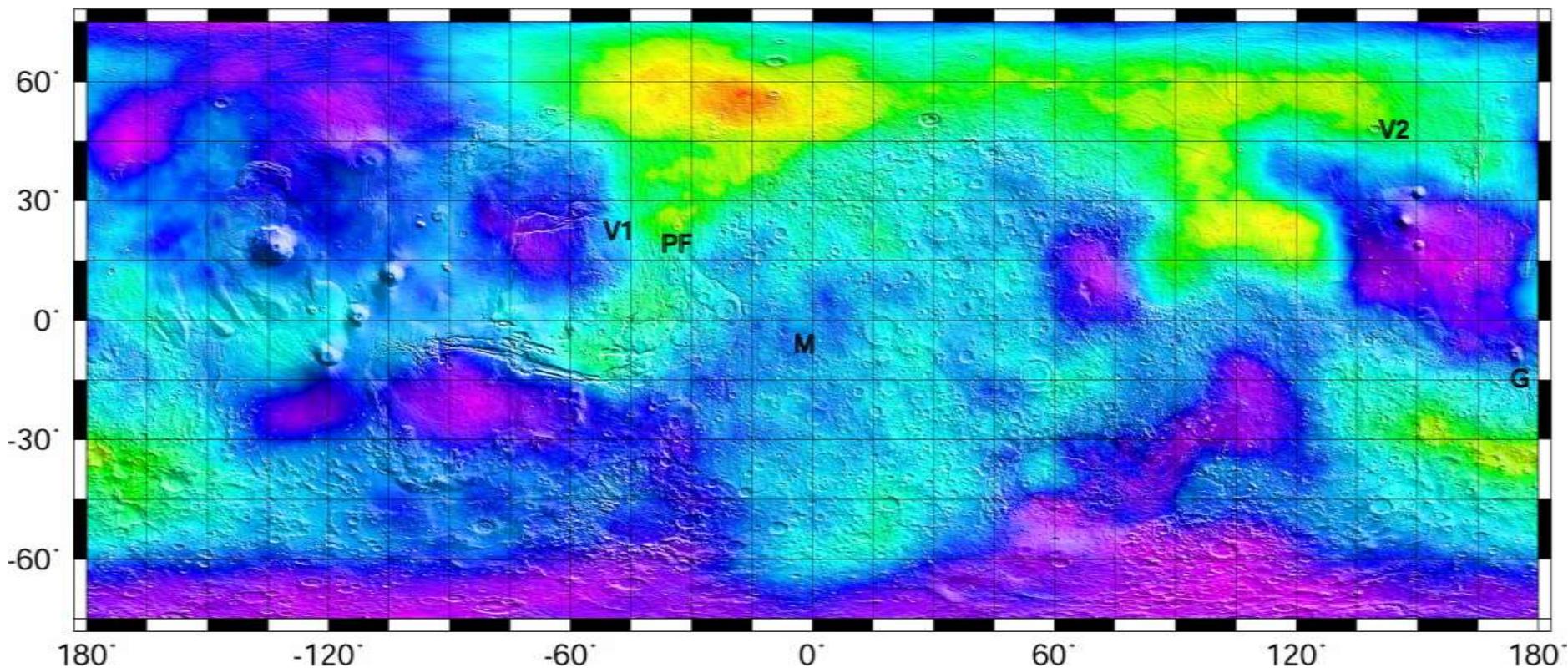
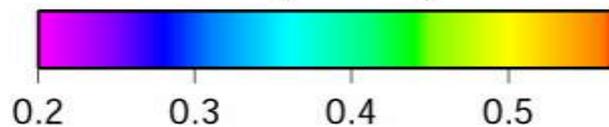
Fe (Wt%)



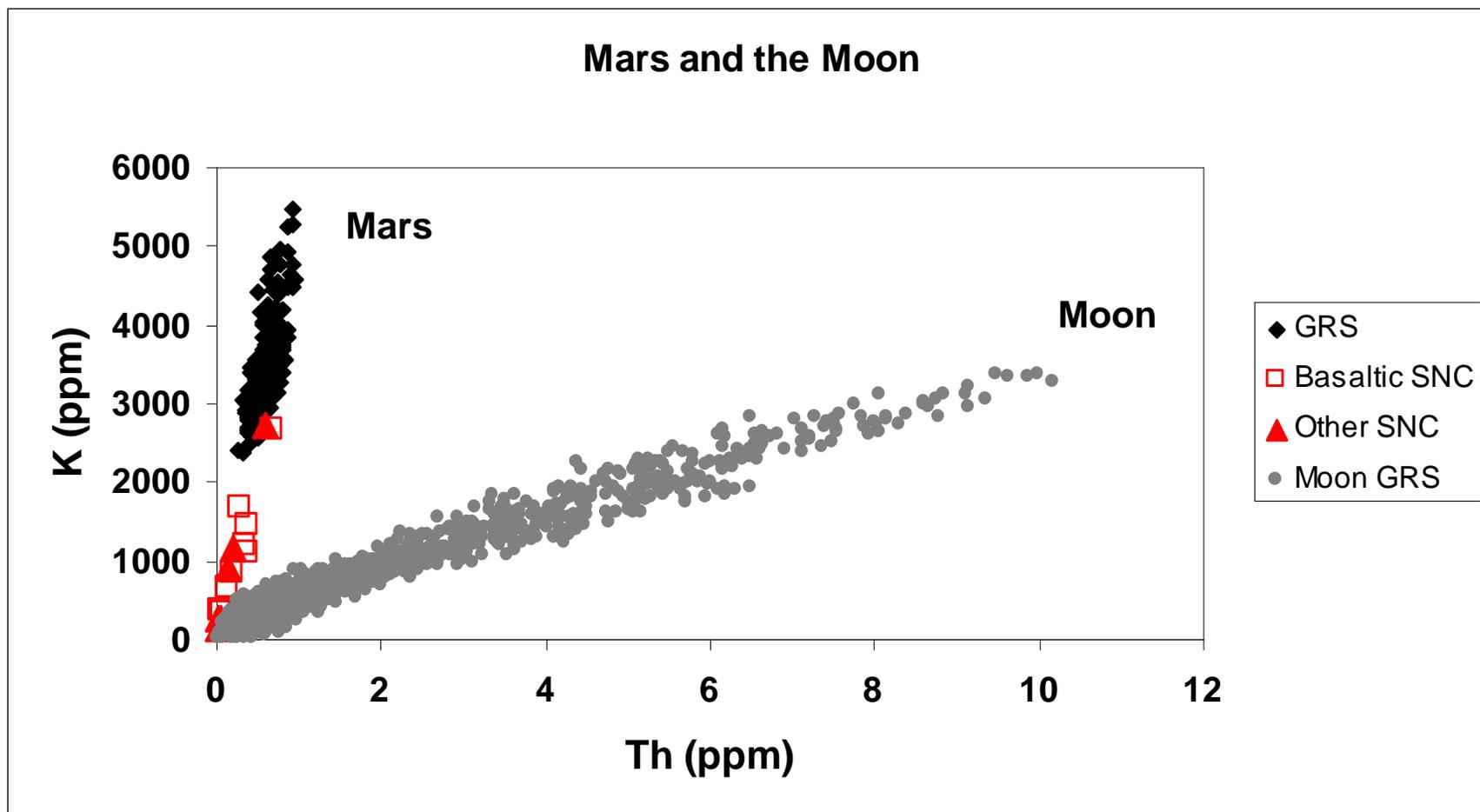
10 11 12 13 14



K (Wt%)

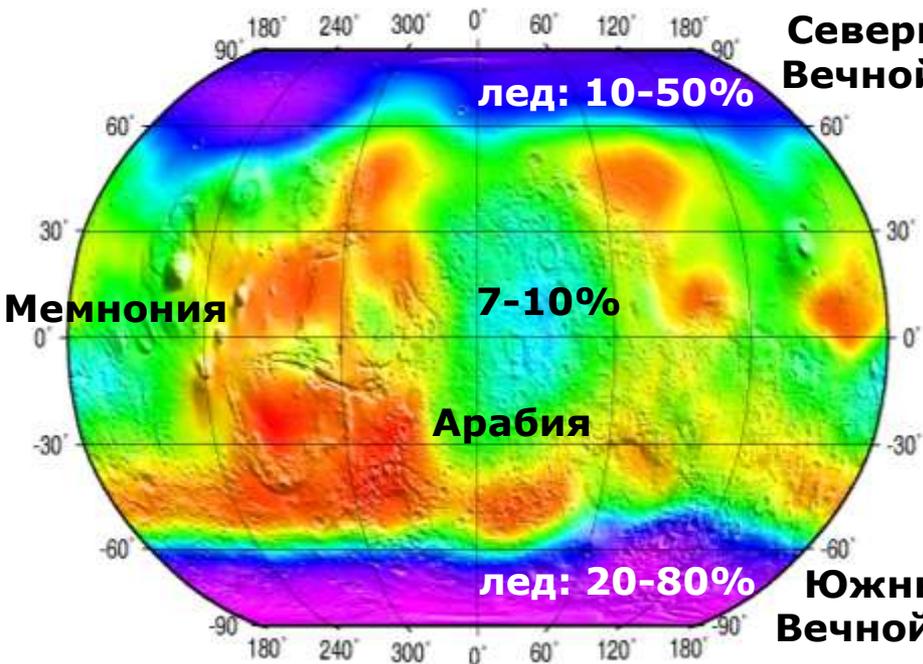
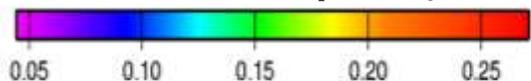


021405\*

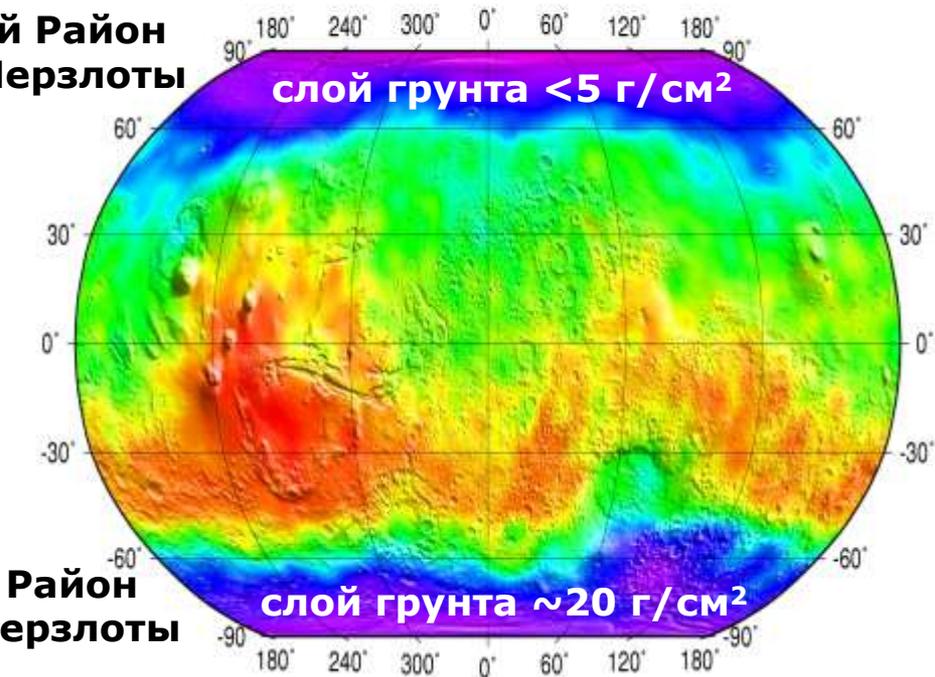


## ХЕНД: картографирование нейтронного излучения Марса

темп счета нейтронов, отс/с



темп счета нейтронов, отс/с



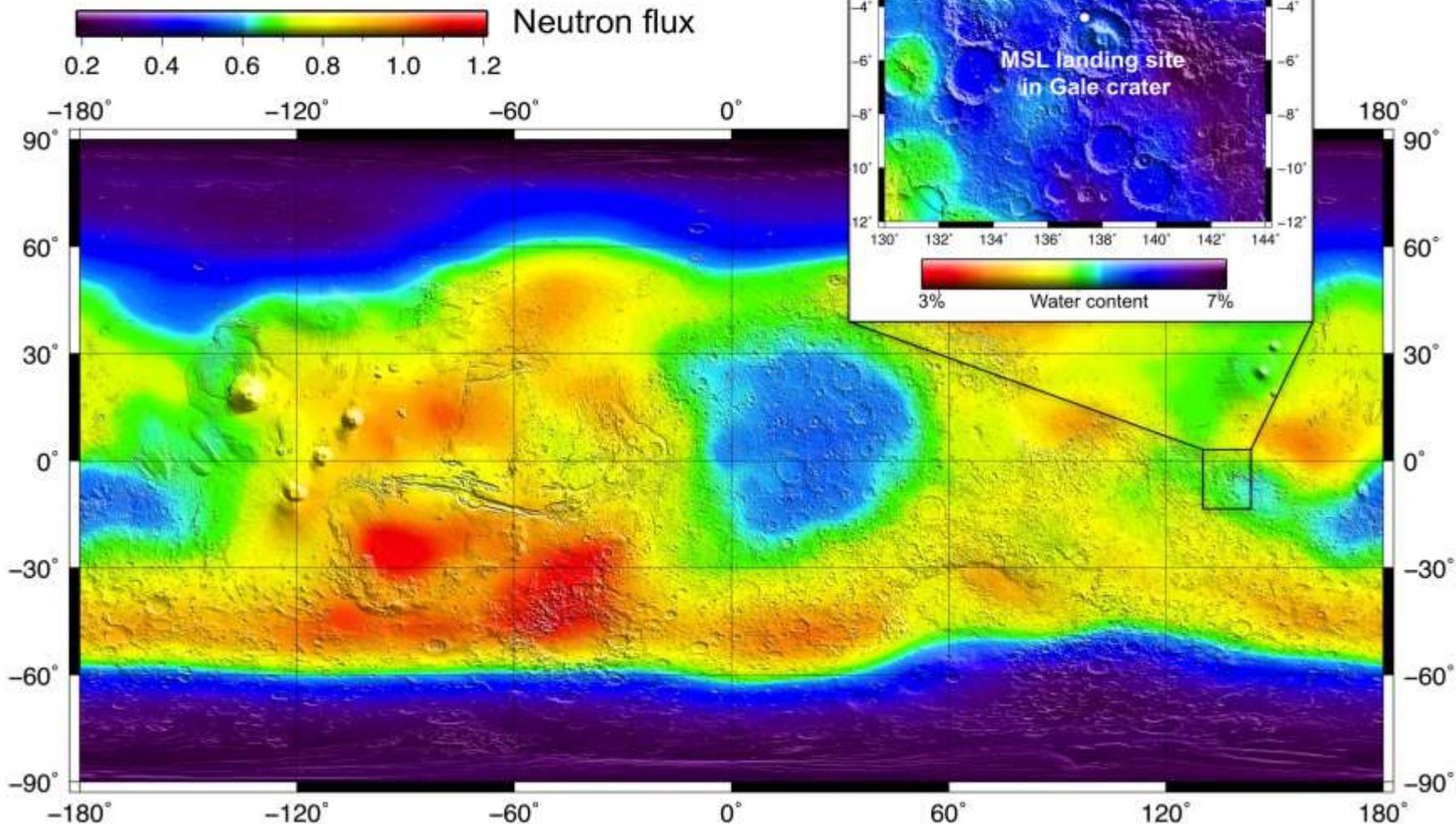
Излучение эпитепловых нейтронов  
от летней поверхности Марса

Излучение нейтронов высоких  
Энергий 0.4 – 2.0 МэВ от летней  
поверхности Марса

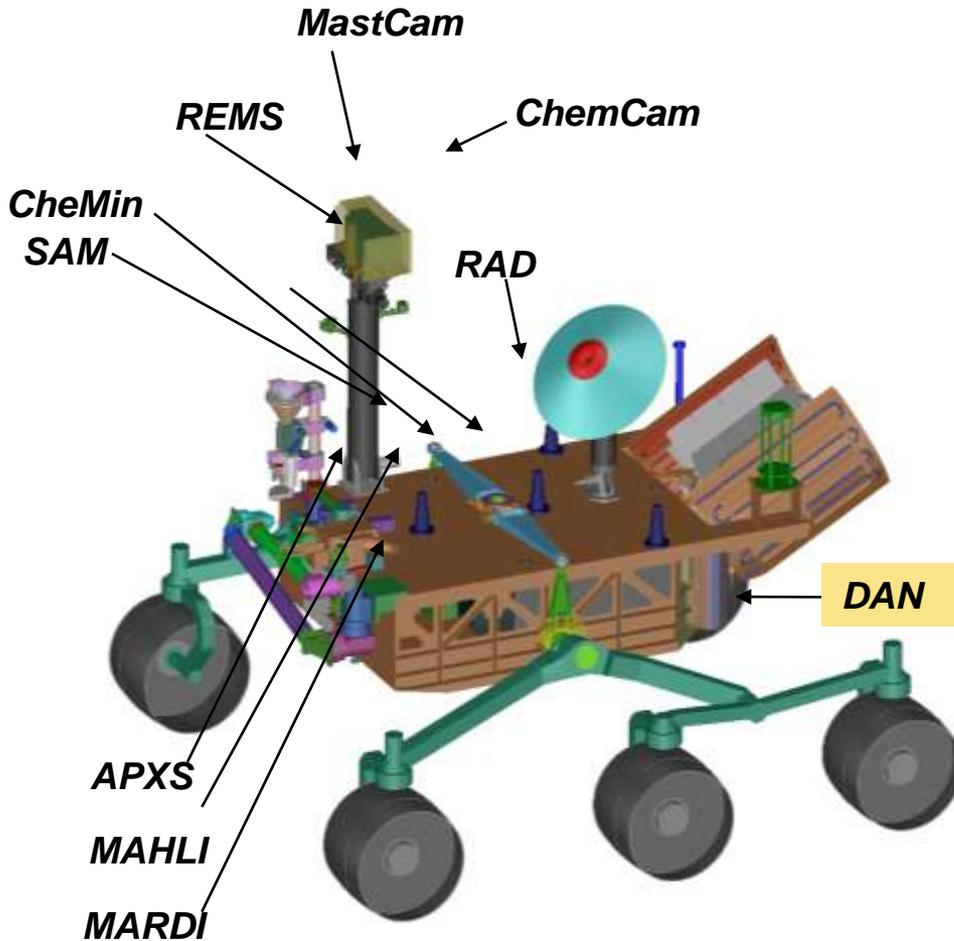


20 ноября 2012

Global map of normalized neutron flux from HEND/Odyssey long-term orbital observations & estimation of water distribution at MSL landing site in Gale crater.



## Mars Science Laboratory



### Remote Sensing (Mast)

ChemCam – Laser Induced Breakdown Spectrometer  
MastCam - Color Stereo Imager

### Contact Instruments (Arm)

MAHLI - Microscopic Imager  
APXS - Proton/X-ray Backscatter Spectrometer

### Analytical Laboratory (Front Chassis)

SAM - Gas Chromatograph/Mass Spectrometer/ Tunable Laser Spectrometer (Sample Composition / Organics Detection)  
CheMin - X-ray Diffraction / Florescence (Sample Mineralogy)

### Environmental Characterization (Body-mount)

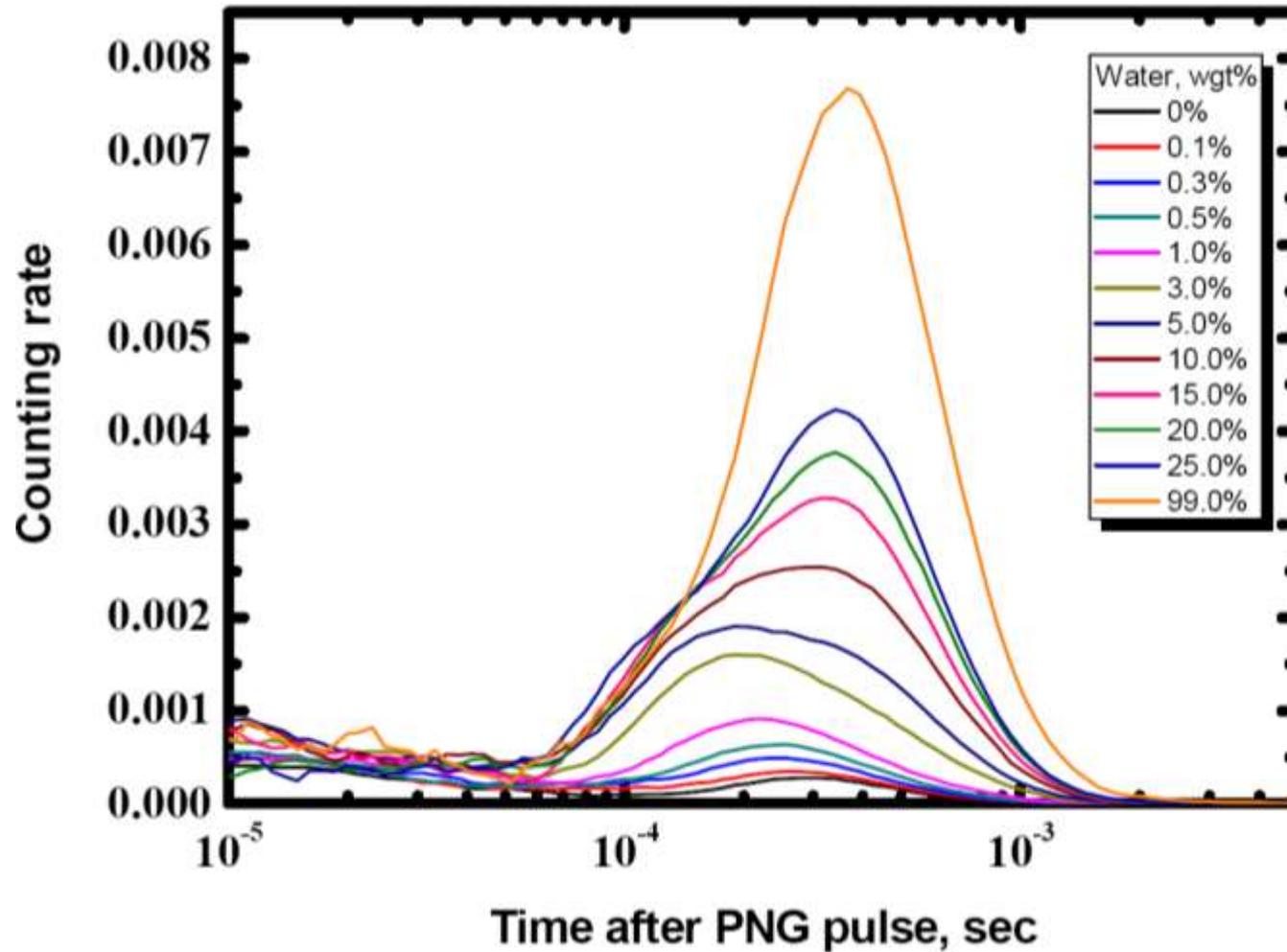
MARDI - Descent Imager  
REMS - Meteorological monitoring  
RAD - Surface Radiation Flux Monitor (future human health & safety)  
DAN - Neutron Backscatter subsurface hydrogen (water/ice) detection

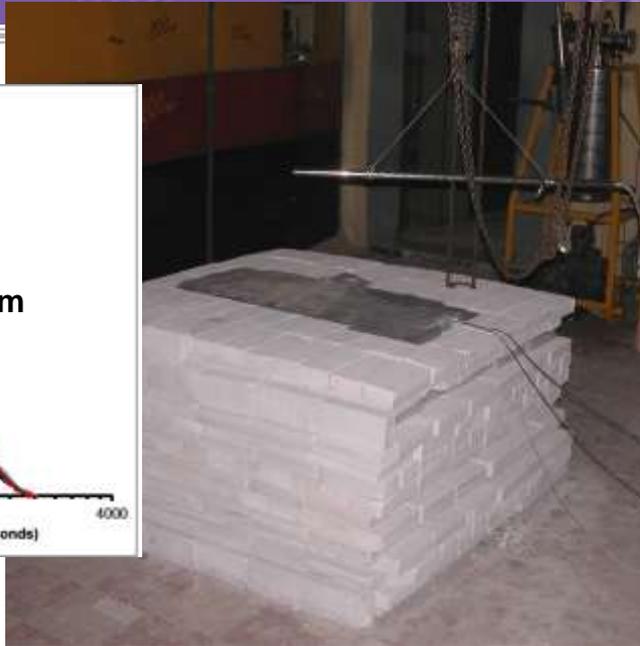
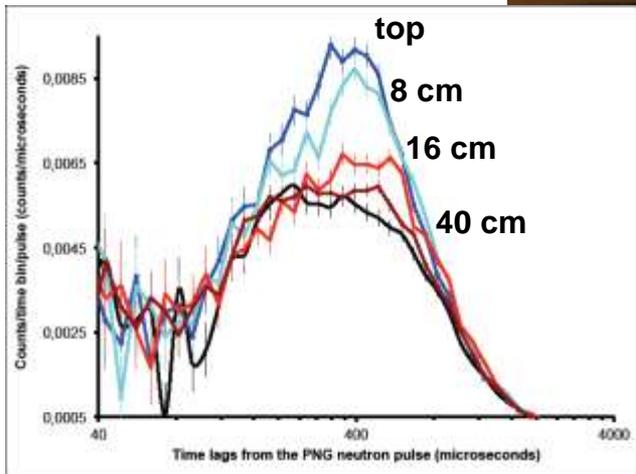
#### Project Science Group

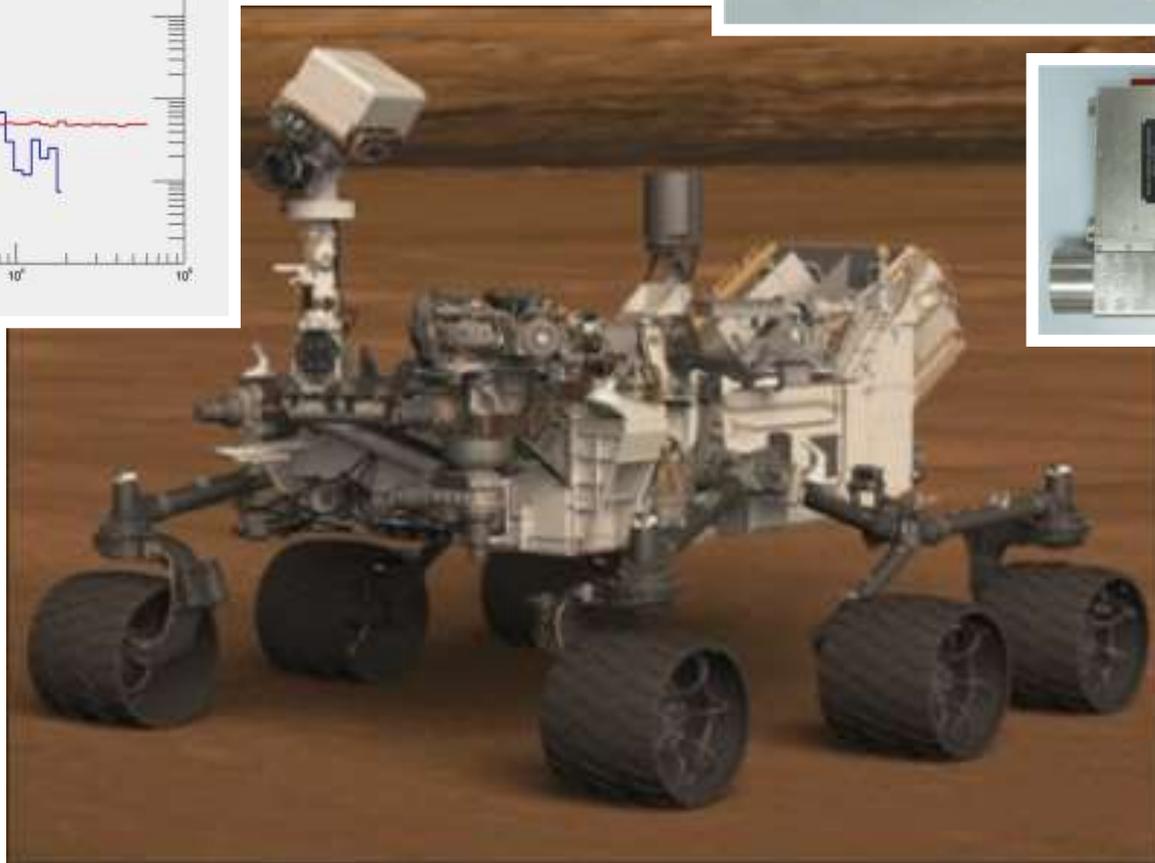
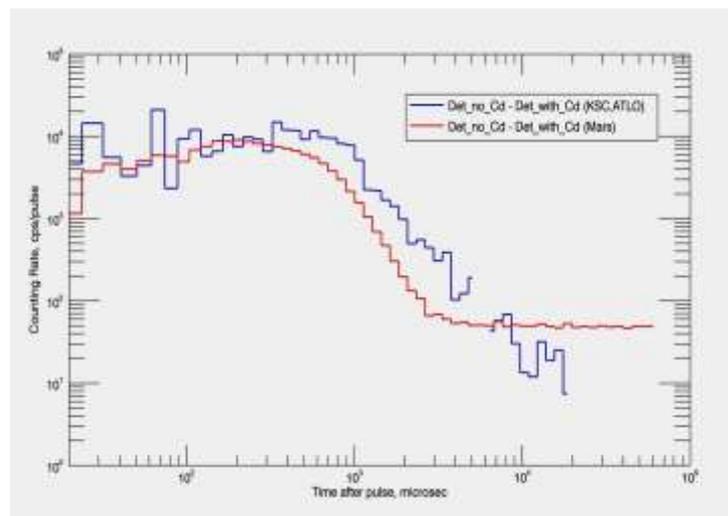
R. Weins, LANL - ChemCam  
M. Malin, MSSS - MastCam, MARDI  
K. Edgett, MSSS - MAHLI  
D. Blake, NASA ARC - CheMin  
P. Mahaffy, NASA GSFC - SAM  
R. Gelhert, Max Plan IfC - APXS  
I. Mitrofanov, IKI - DAN  
L. Vasquez, INTA/CABS - REMS  
D. Hassler, SwRI - RAD

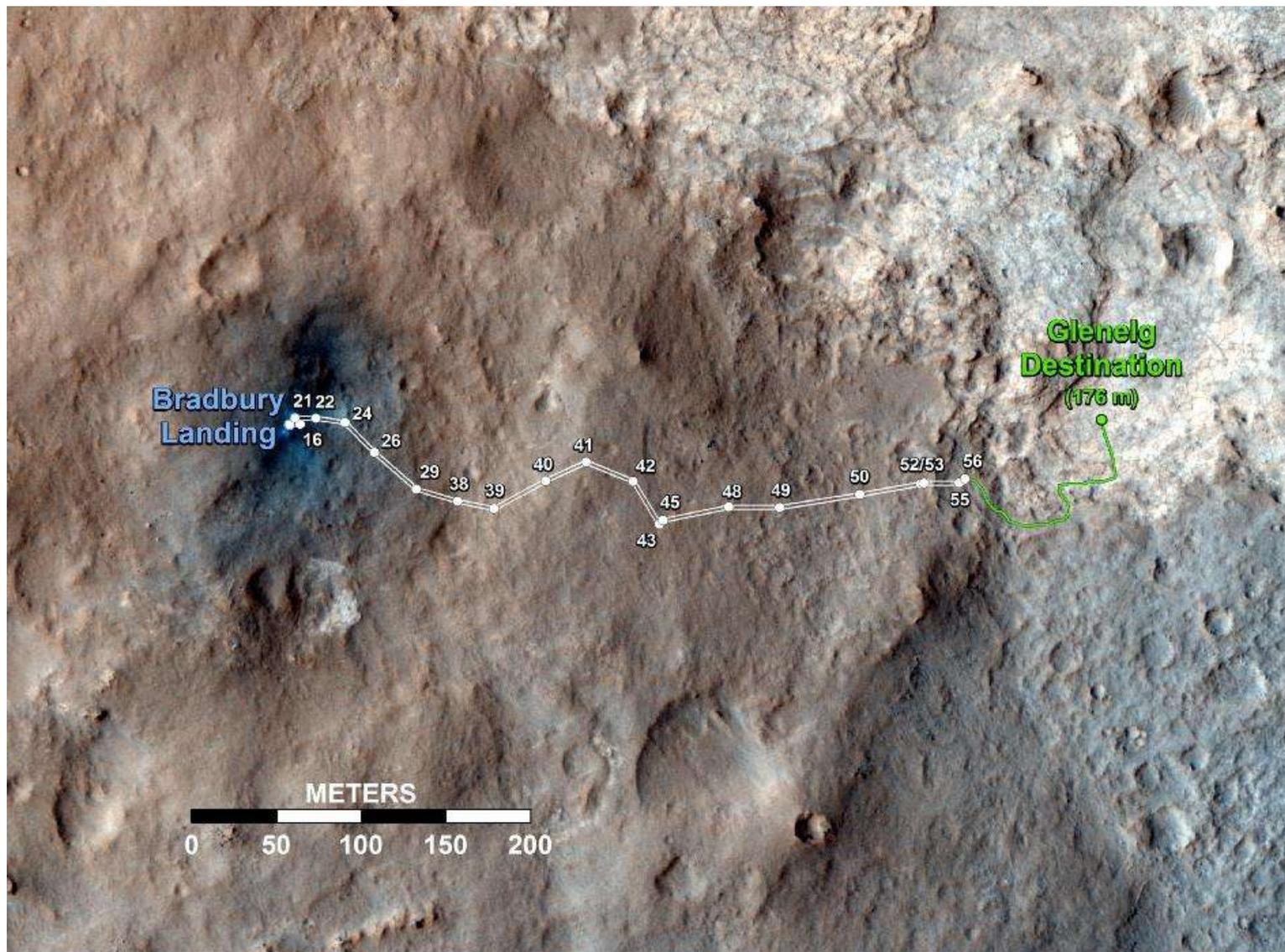
## Прибор ДАН (Динамическое Альbedo Нейтронов)

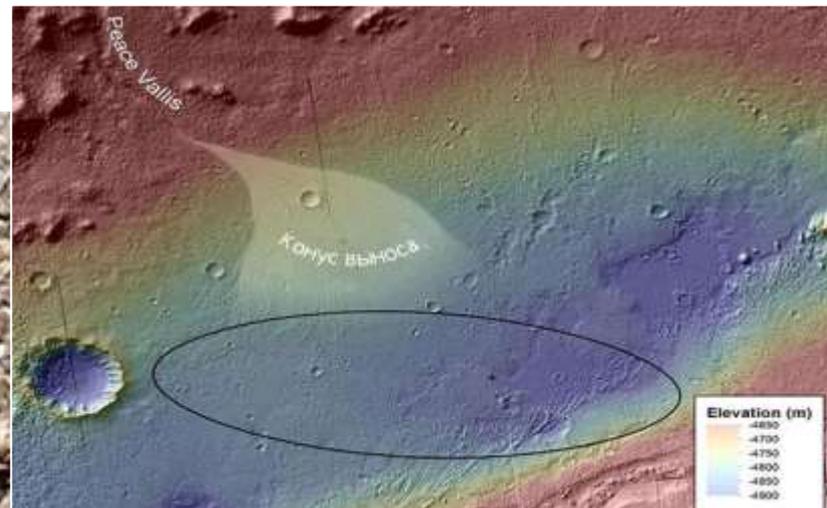
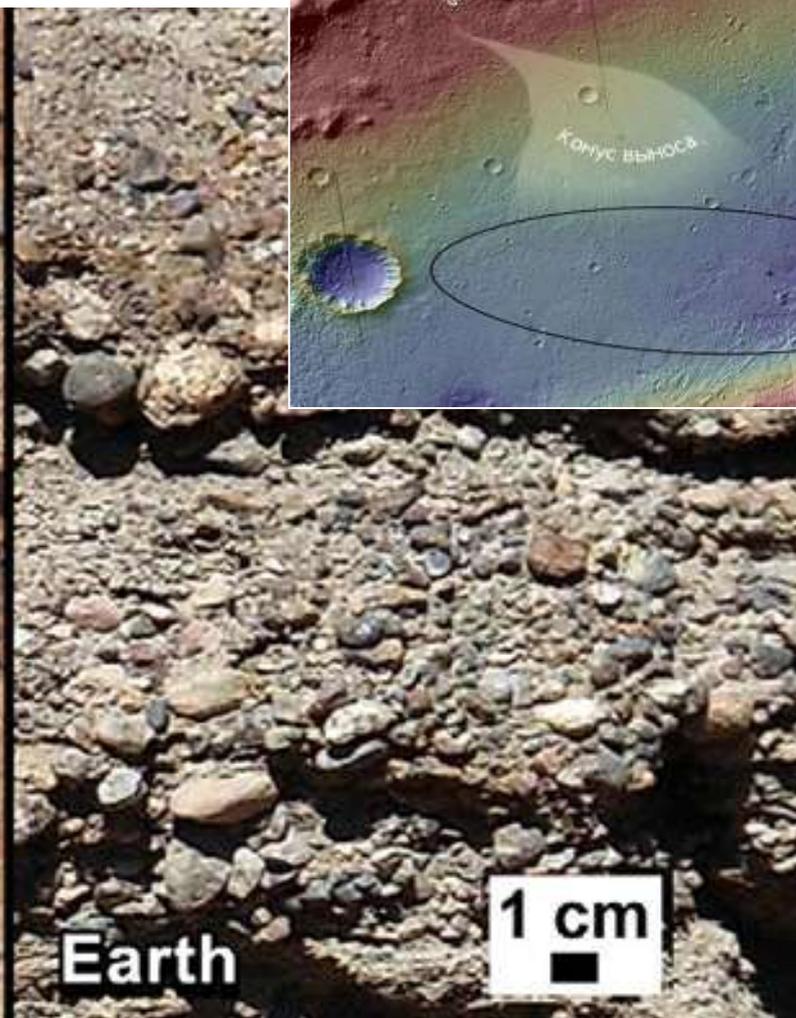




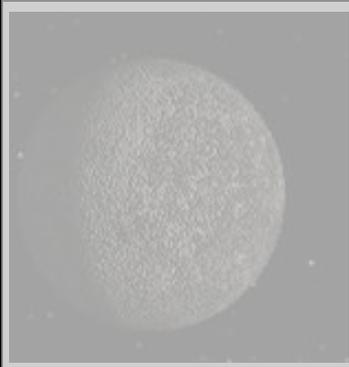








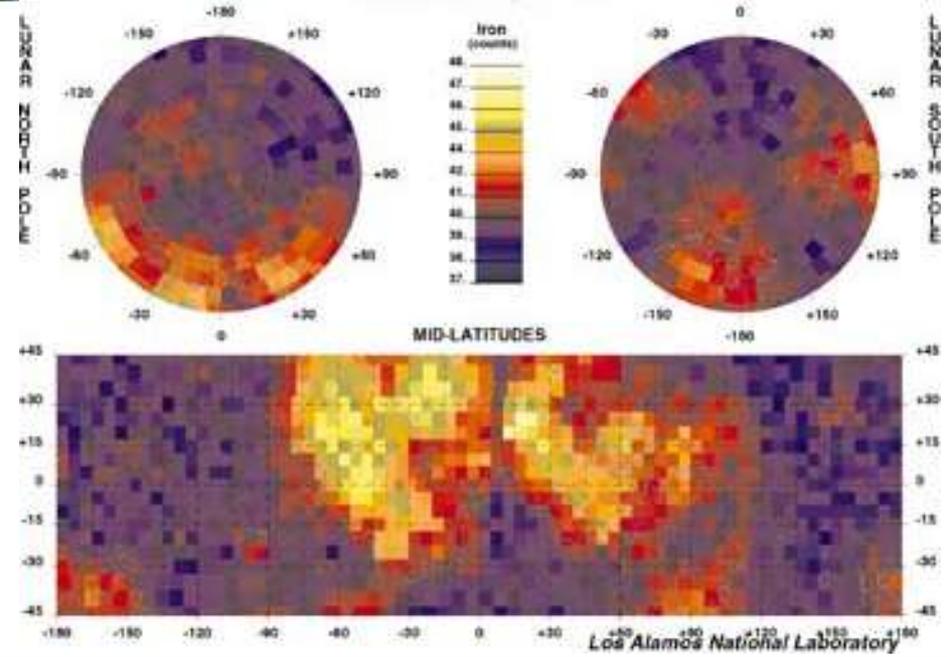
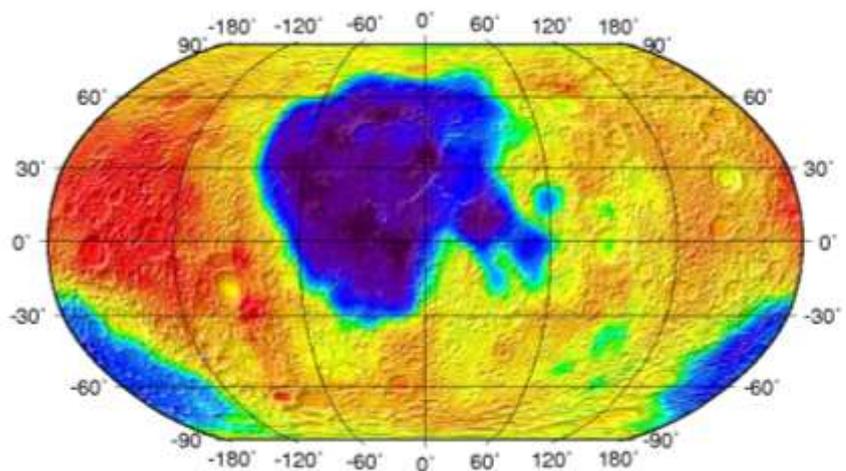
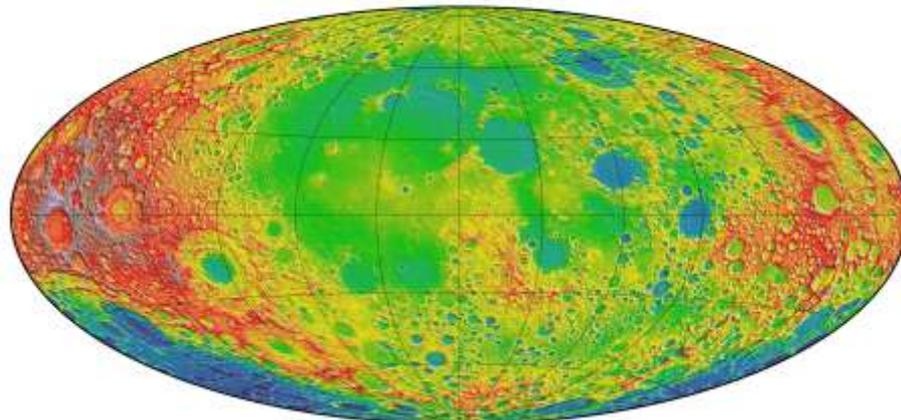
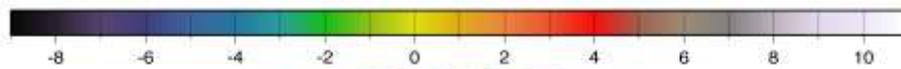
## Космические проекты ядерной планетологии

				
	Venera's and VEGA's	Surface data	Luna-10, -12 Apollo-15, -16 Lunar Prospector Kaguya	Mars-5 Phobos-2
Messenger		BTN-Neutron	Lunar Reconnaissance Orbiter	Mars Odyssey  Mars Science Laboratory
BeppiColombo	SAGE	BTN-Neutron-2	Luna-Glob (L-25)  Luna-Resource (L-27)	ExoMars 2016  ExoMars 2018

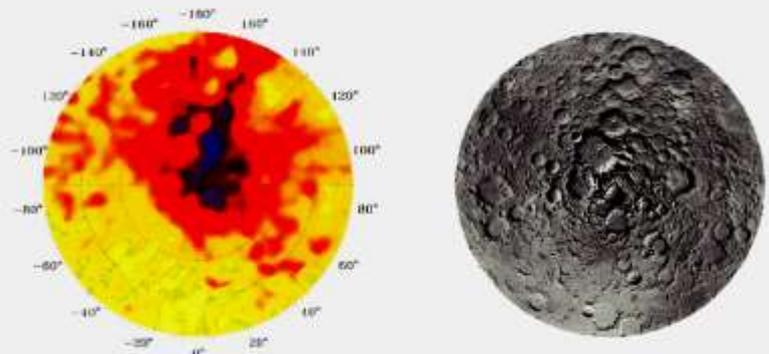


## **АНАЛИЗ ЛУНЫ – УСЛОВИЕ ЕЕ ОСВОЕНИЯ В XXI ВЕКЕ:**

- (1) Распространенность на Луне естественных радиоактивных изотопов K, Th и U – загадка происхождения спутника Земли**
- (2) Картографирование минералов – возможности освоения полезных ископаемых Луны**
- (3) Анализ наличия водяного льда на лунных полюсах – геологоразведка лунных водных ресурсов**
- (4) Радиационный фон на поверхности Марса**

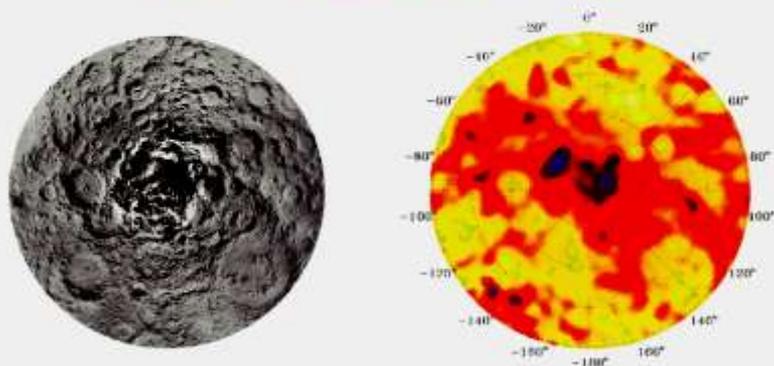


Epithermal\*

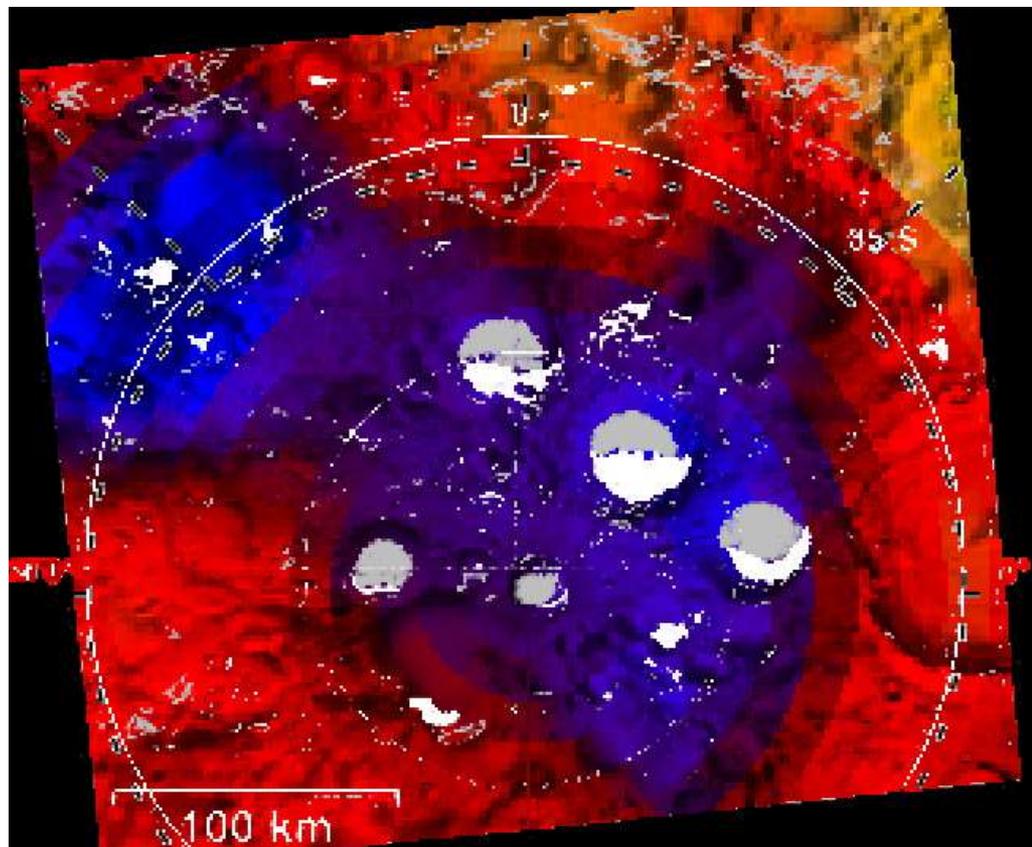


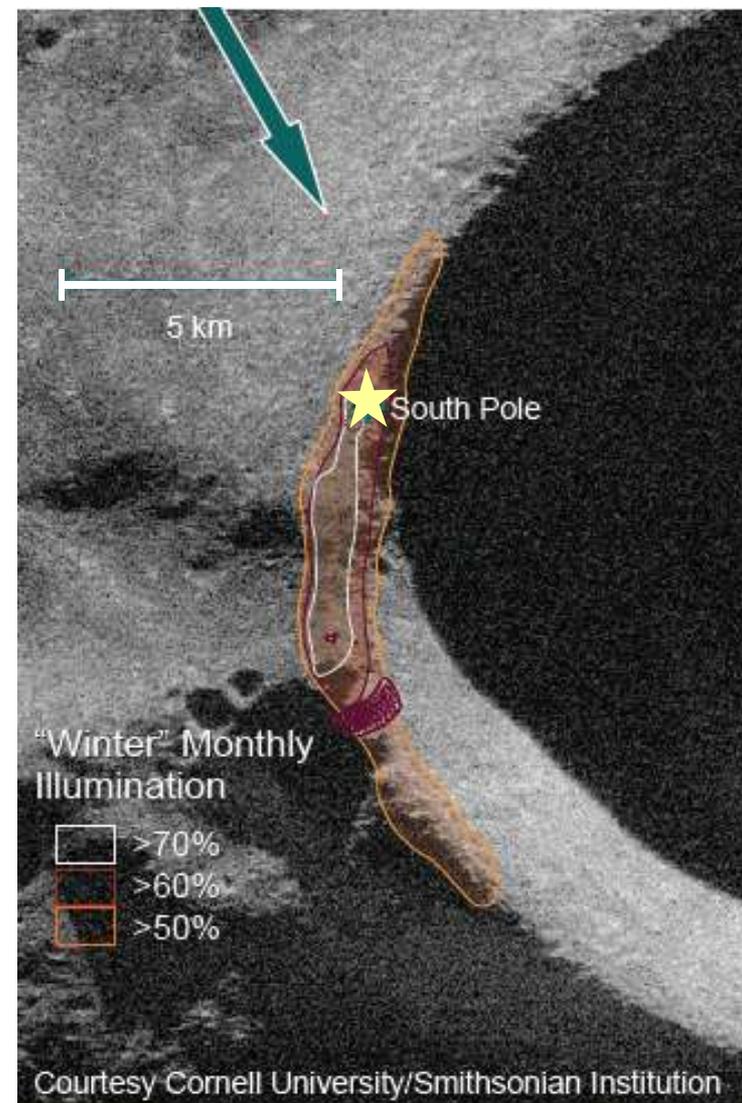
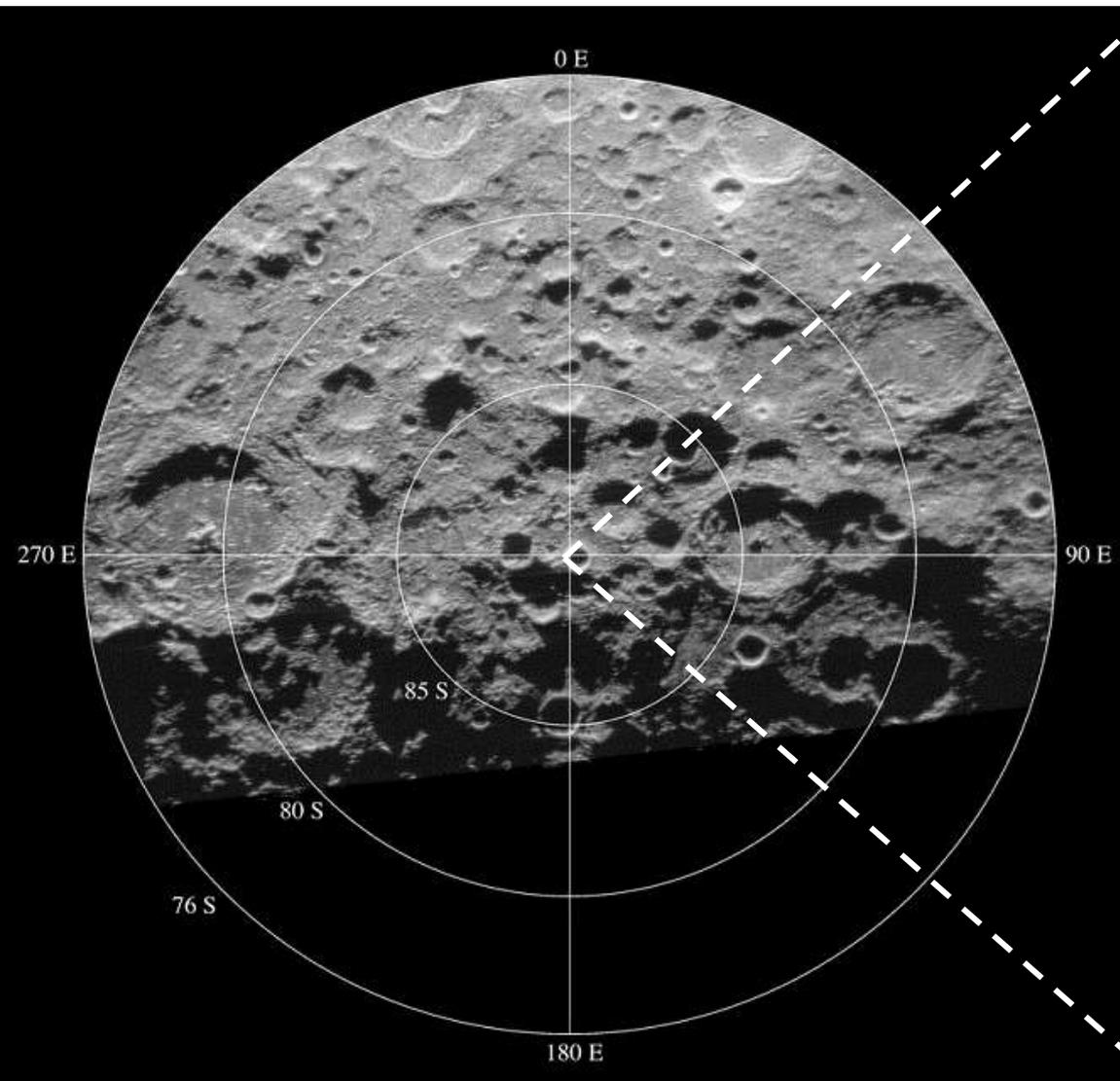
North Pole ( 70°  
East Longitude

Epithermal\*

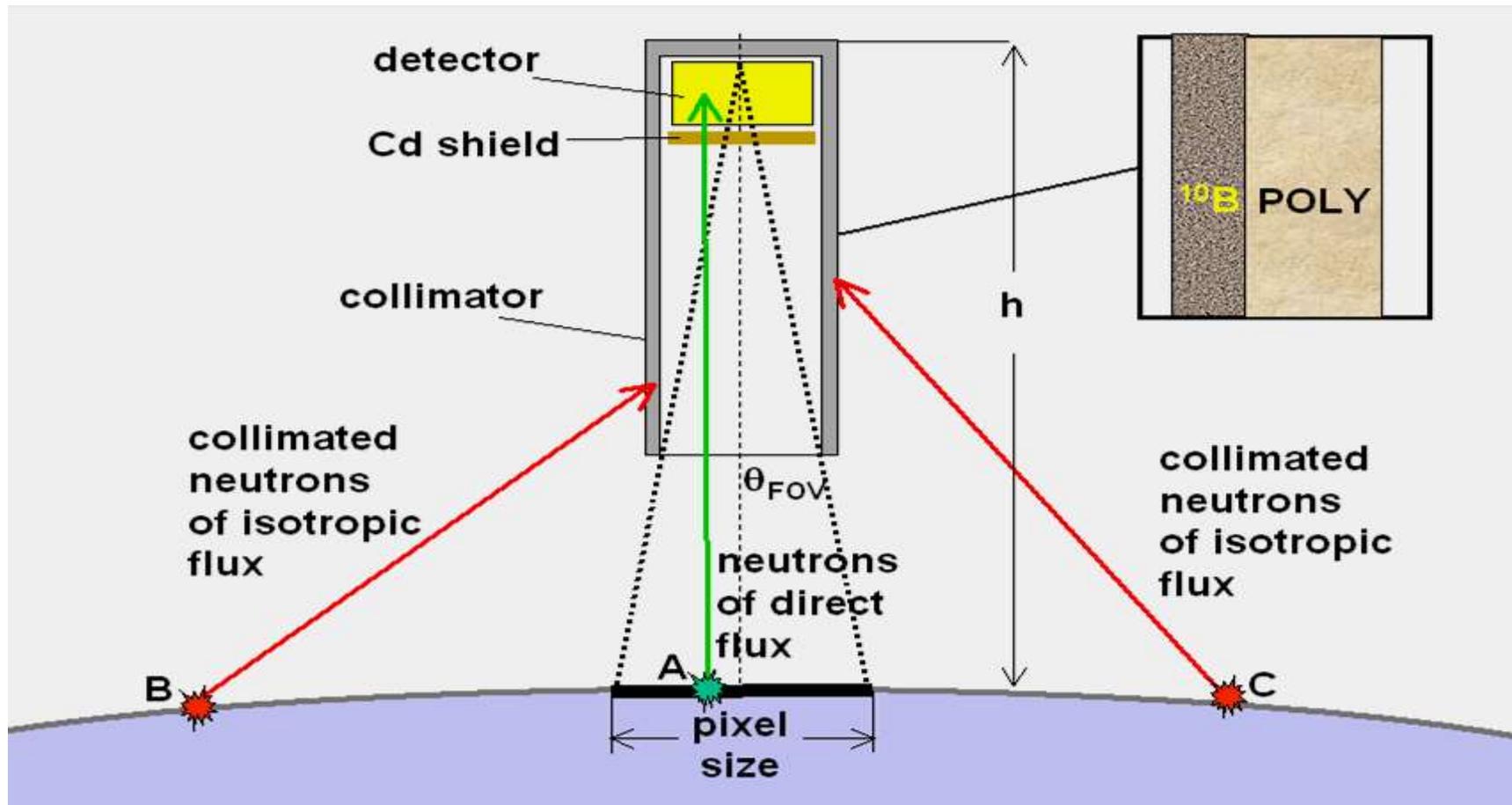


South Pole ( -70°  
East Longitude



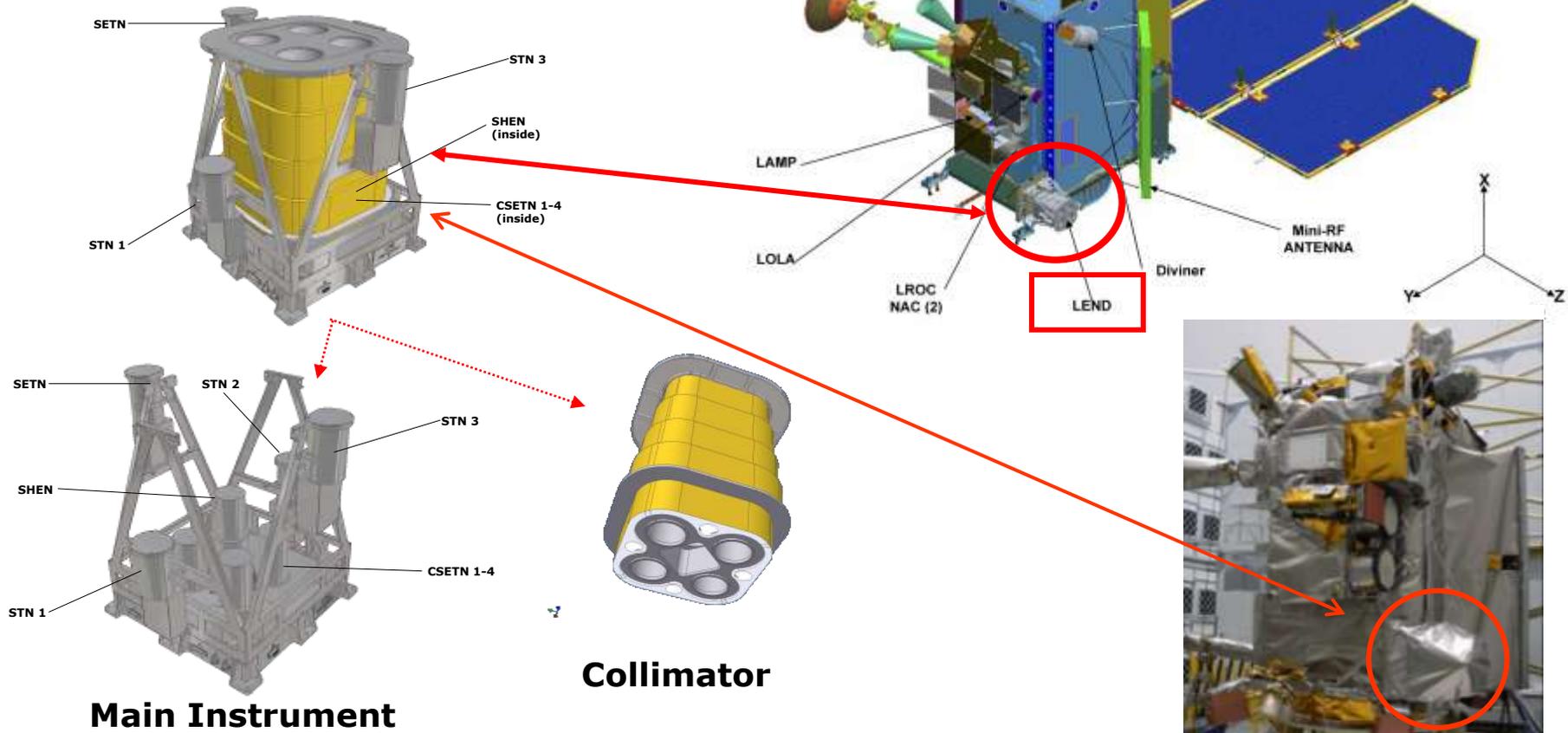


## Концепция нейтронного телескопа: коллимация нейтронов

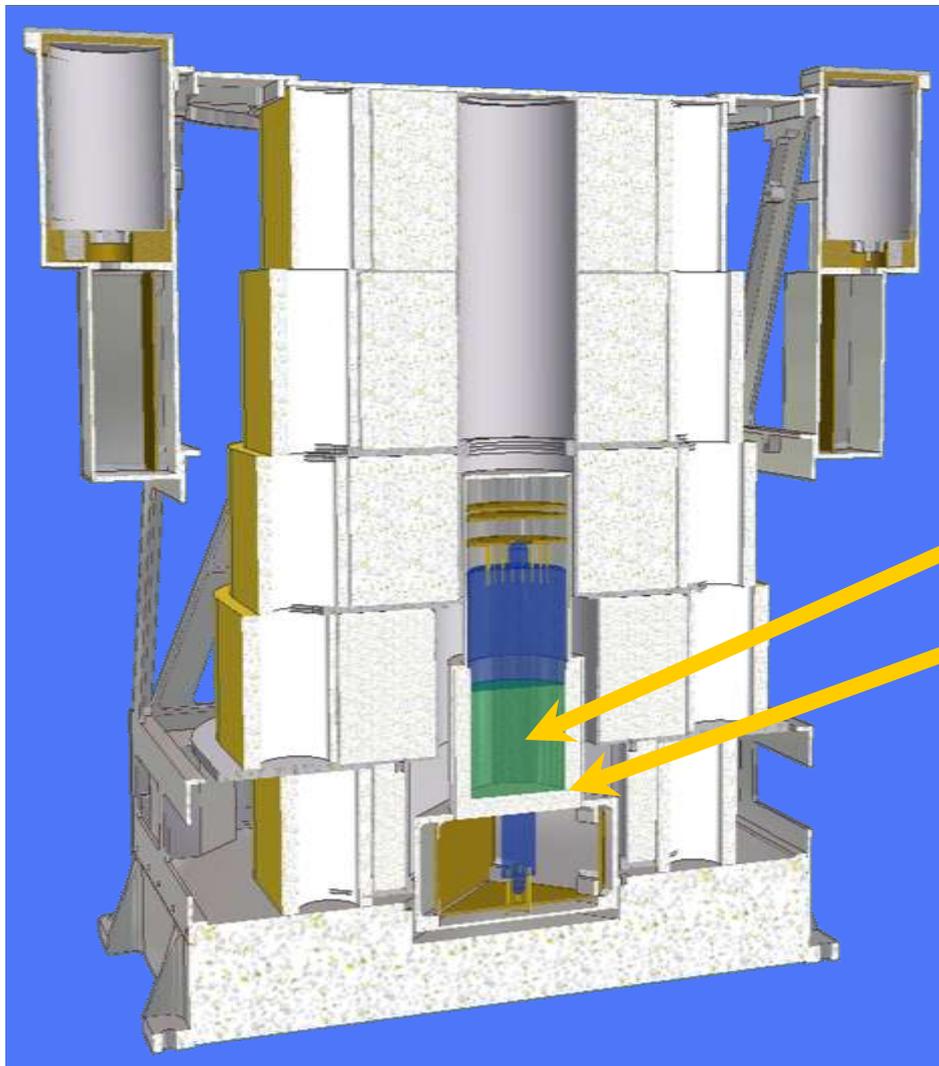


## LEND Instrument Overview

LEND consists of nine detectors to measure fluxes of thermal, epithermal, and fast neutrons.



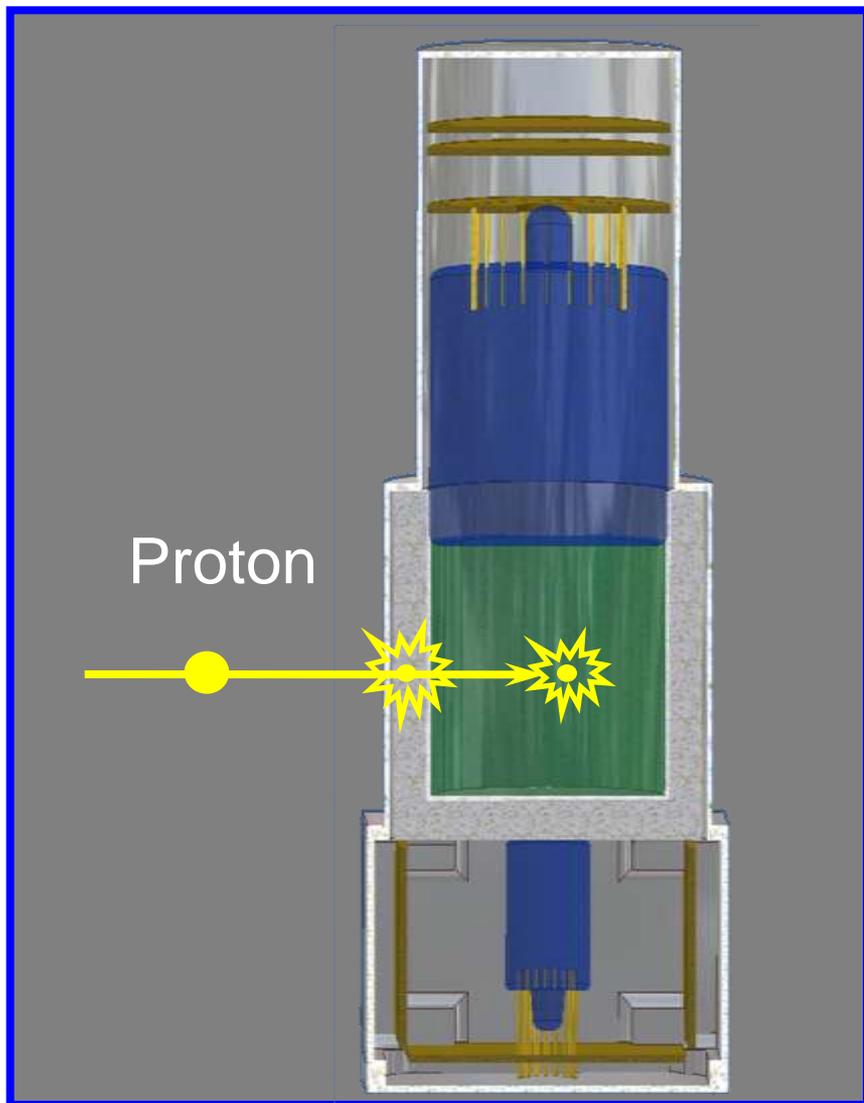
## LEND detection sensors: schematic location



### LEND scintillation block:

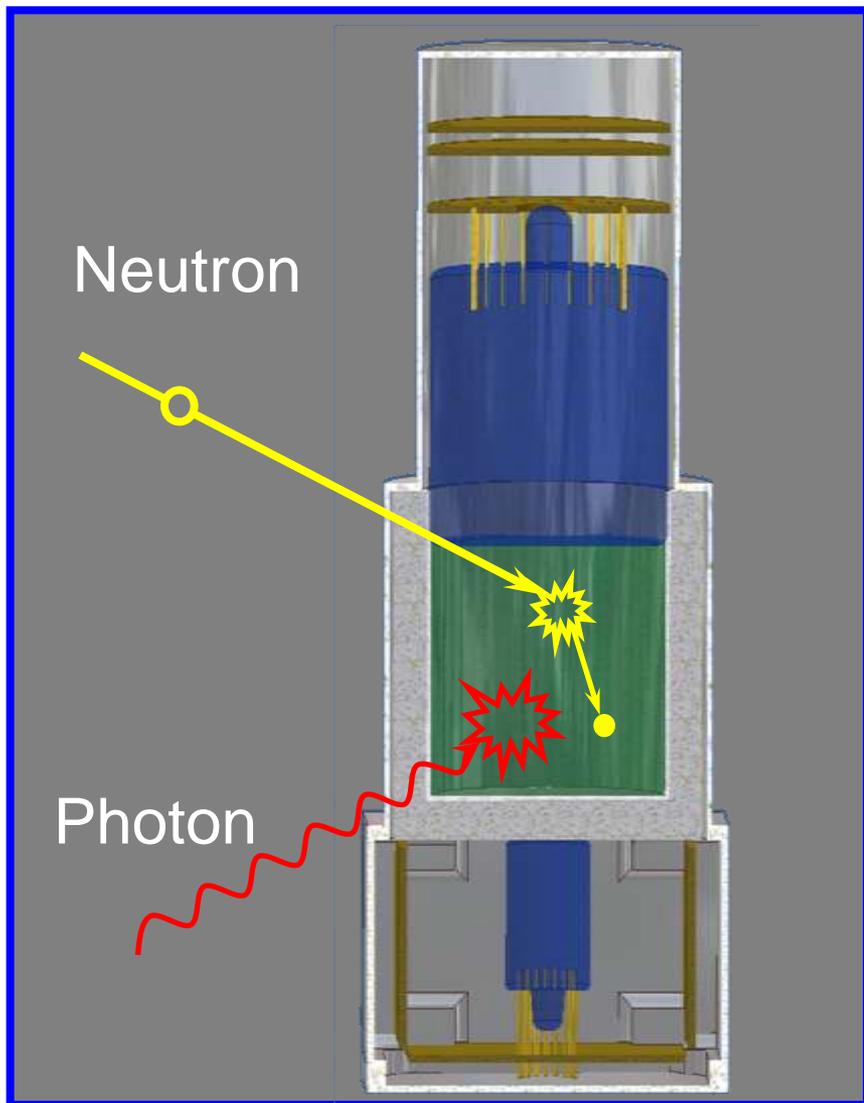
- Styrene
- Plastics  
anticoincidence (A/C)  
shield

## Scintillation block: rejections of protons

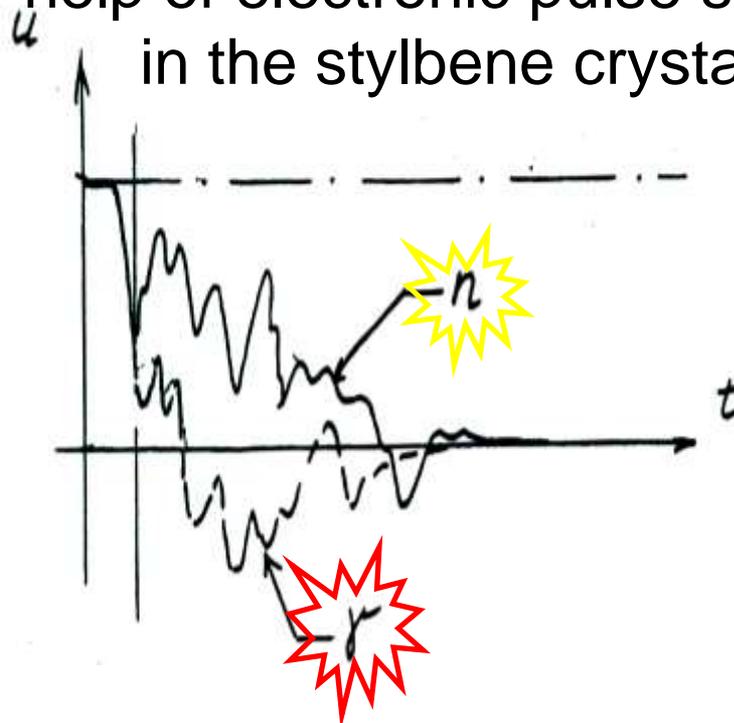


Separation between background and recoil protons is done by help of anticoincidence circuit based on plastic scintillation which surrounds styrene detector in direction of open space

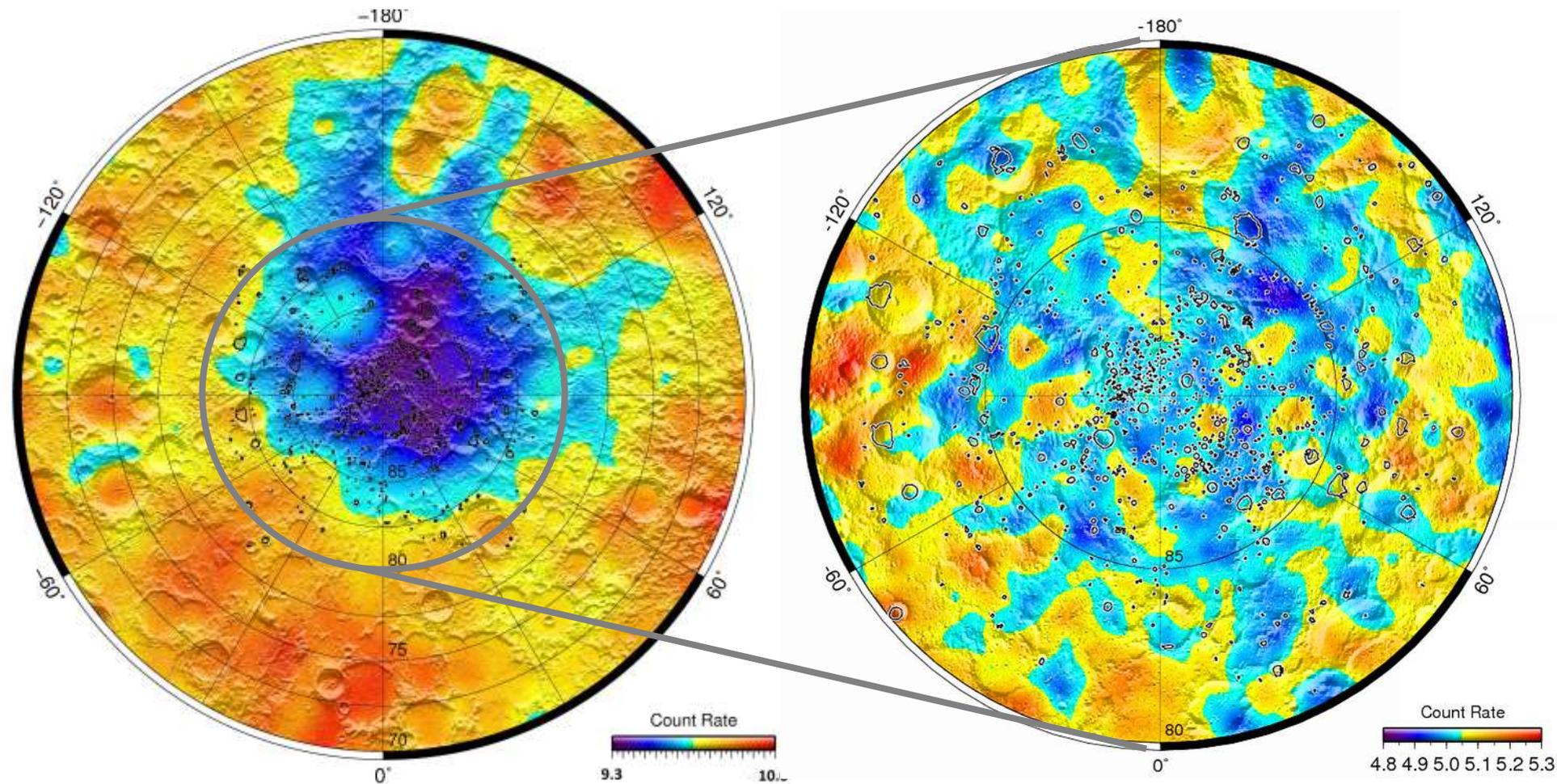
## Scintillation block: rejections of photons



Distinguishing between neutron and gamma signal in stilbene crystal is done by help of electronic pulse shape in the stylbene crystal

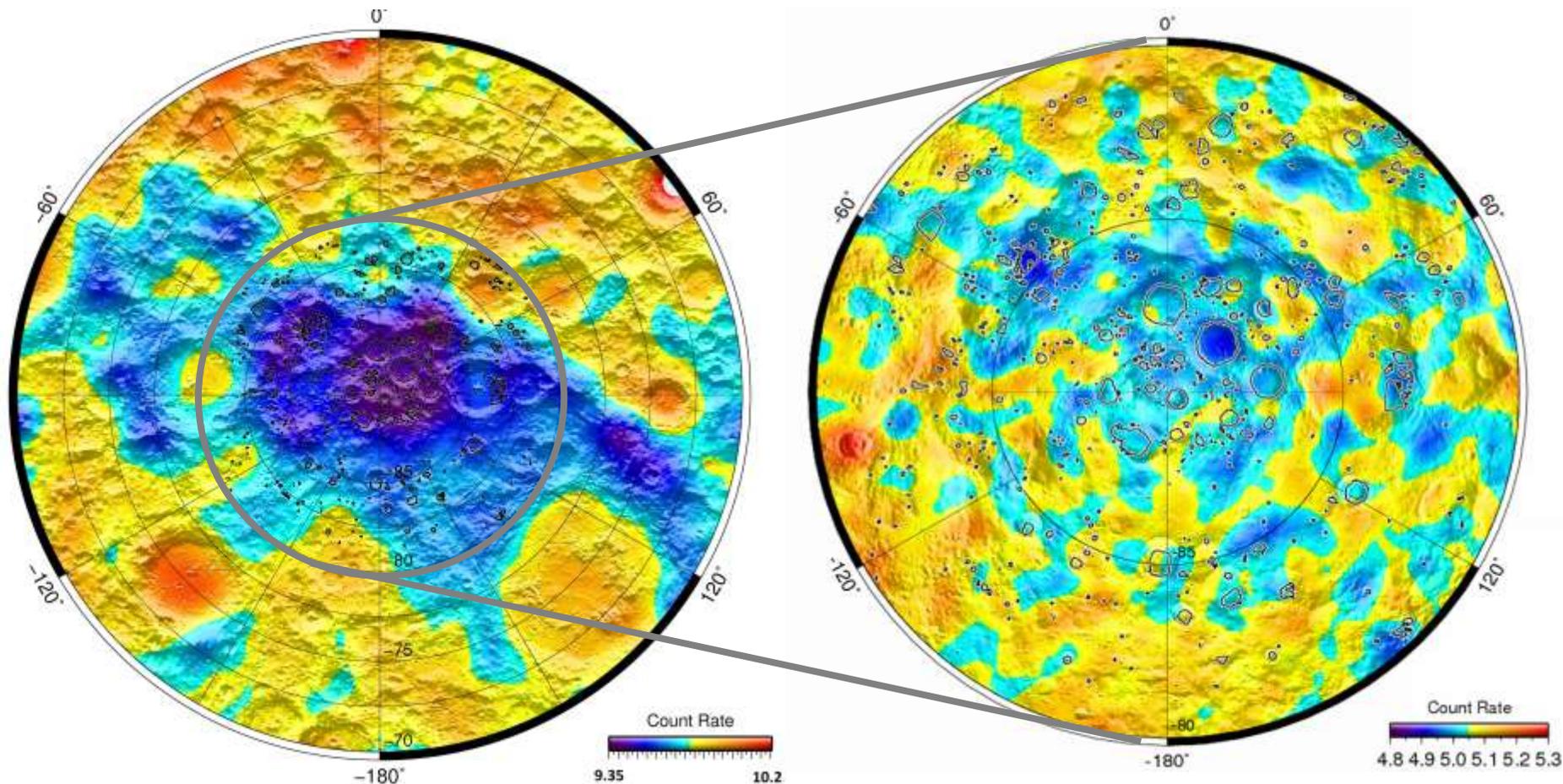


## Нейтронное излучение северного полюса Луны

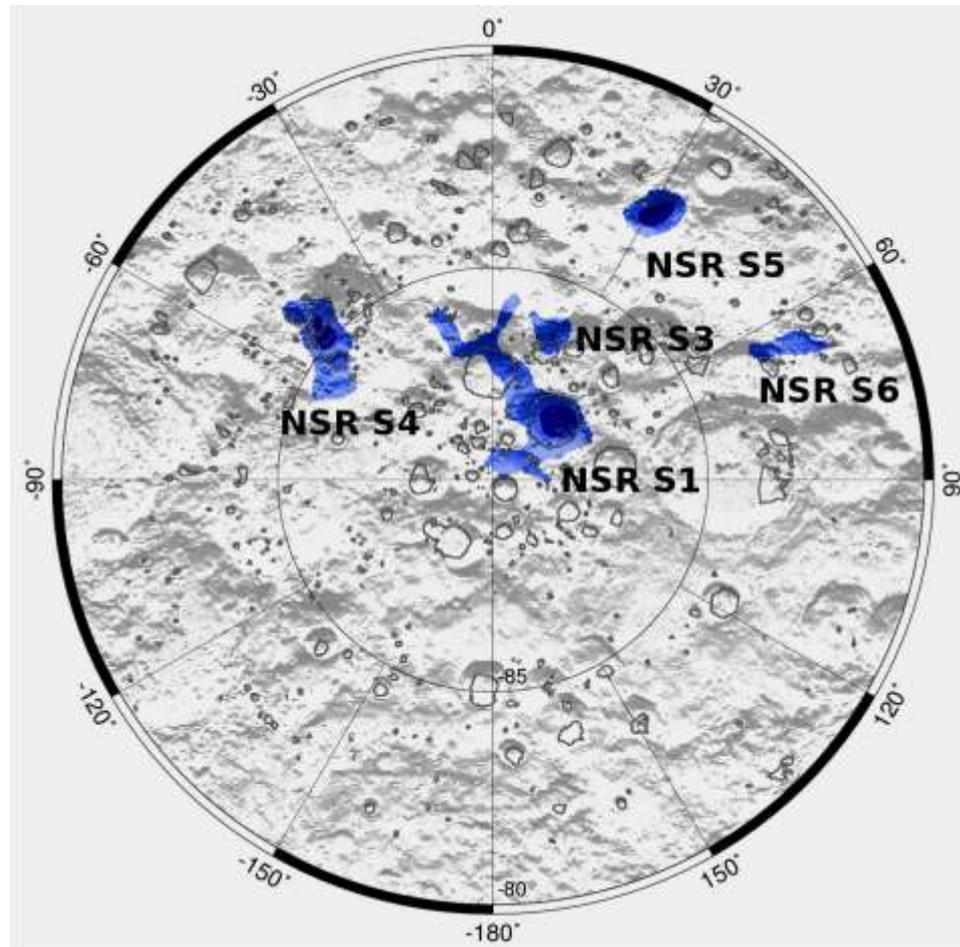
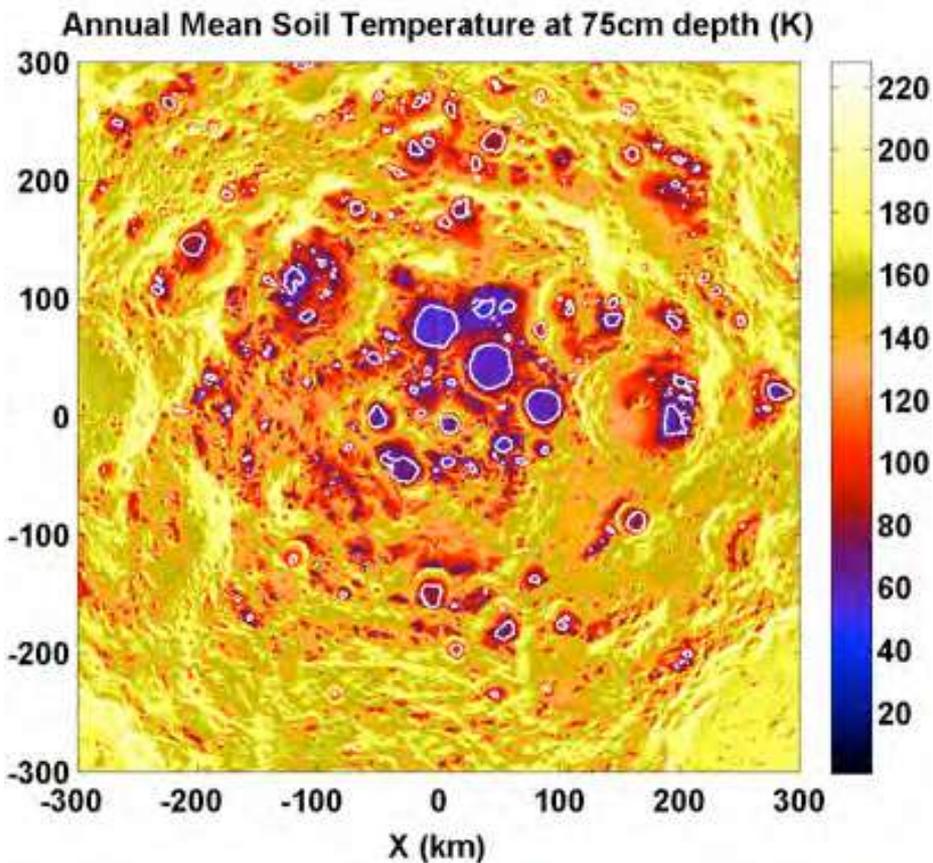


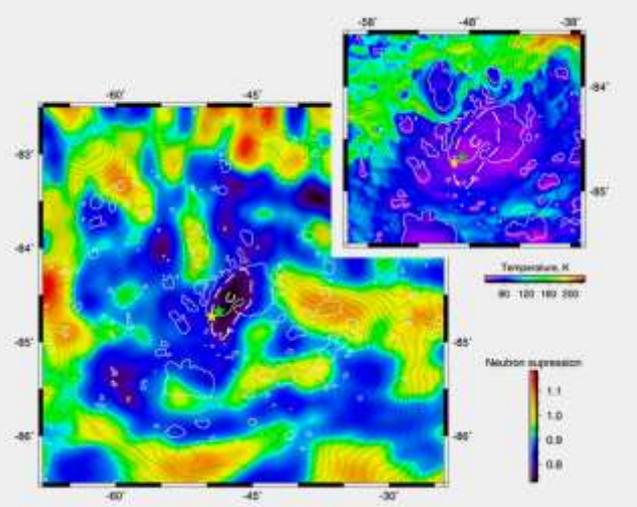
11 Jul 13 18:30:33 SC map with all corrections sm 10km

## Нейтронное излучение южного полюса Луны

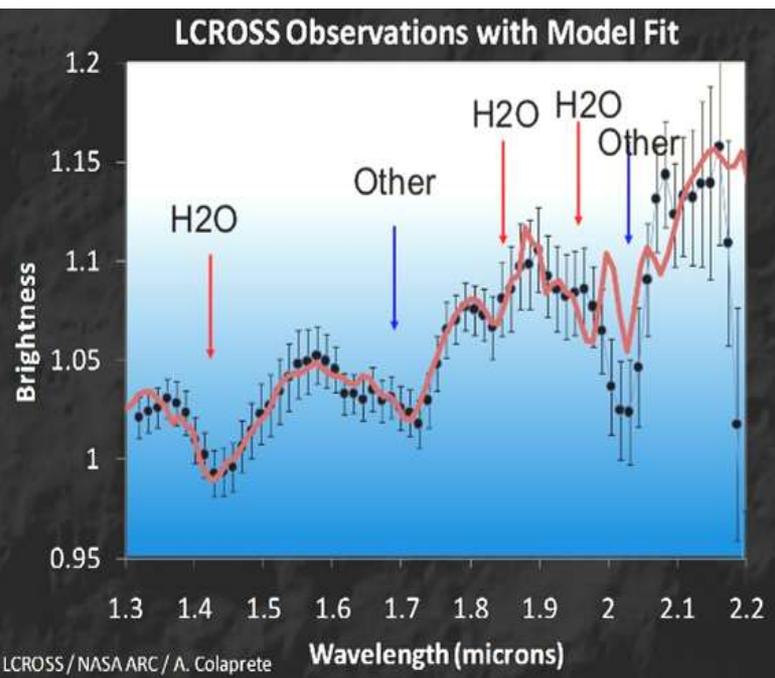


## Вероятные районы вечной мерзлоты на Южном полюсе: данные Дивайнера (слева) и ЛЕНДа (справа)





## Вода в кратере Кабеус: результаты измерений ЛКросса и ЛЕНДа



**В реголите приборами ЛКросс обнаружены вода и другие летучие соединения**

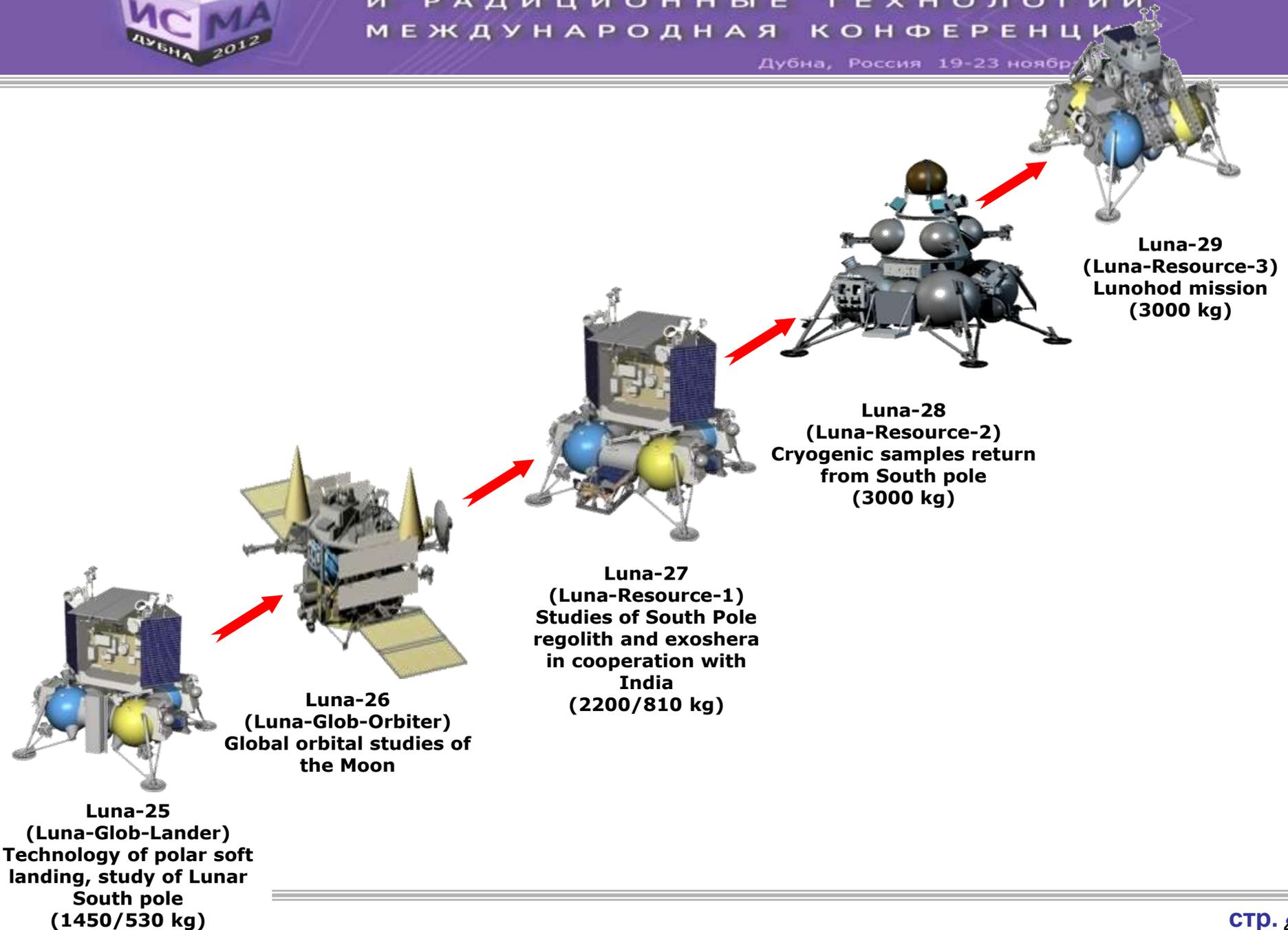
**$H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ , Na, K, CO,  $NH_2$**

**Оценка содержания воды по данным ЛКросс составляет**

**$5.6 \pm 2.9$  % (по массе)**

**Оценка содержания воды по данным ЛЕНДА составляет**

**0.5 – 4.0 % (по массе)**

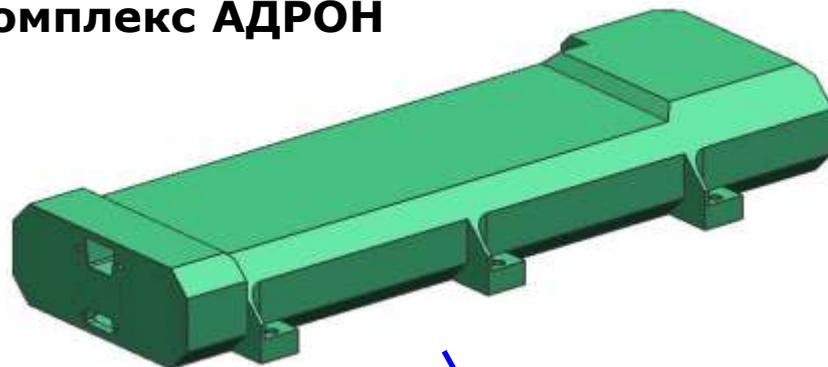
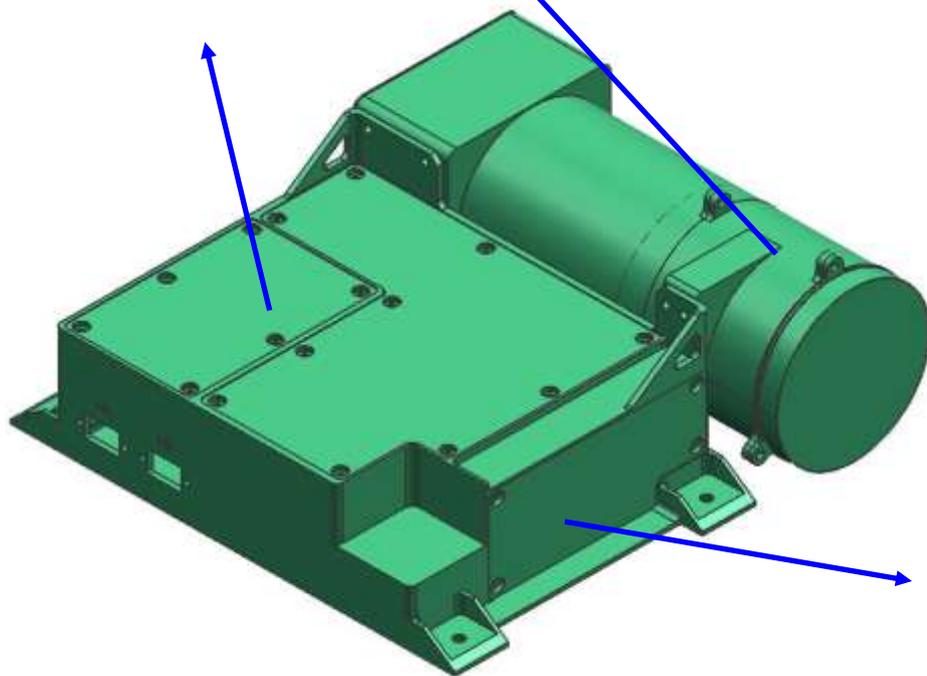


## Ядерно-физический комплекс АДРОН

### Гамма Спектрометр

(3" кристалл  $\text{LaBr}_3$ ,  
диапазон энергий 0,2-7 MeV,  
разрешение <3% на 662keV)

### Электроника



### Импульсный Нейтронный Генератор

( $10^7$  нейтронов в импульсе с  
энергией 14 MeV, частота  $\leq 10$  Гц)

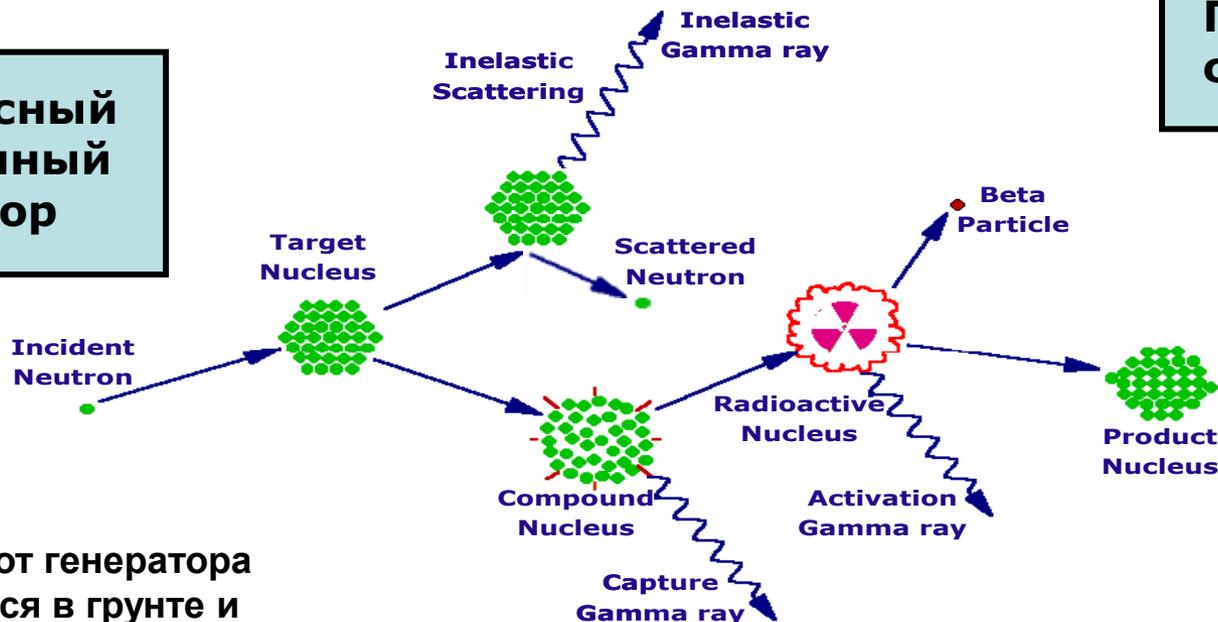
### Нейтронные Детекторы

(два  $^3\text{He}$  счетчика, диапазоны энергий  
 $E_1 < 100\text{keV}$  и  $0.4\text{eV} < E_2 < 100\text{keV}$  )

## Методика измерений

**Импульсный  
Нейтронный  
Генератор**

**Гамма-  
спектрометр**

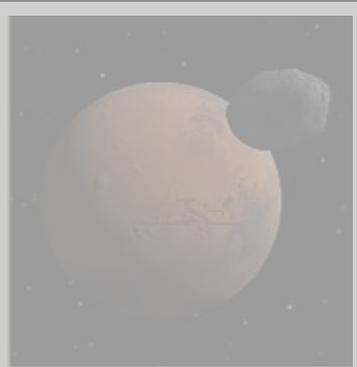


**Детекторы  
Нейтронов**

Нейтроны от генератора замедляются в грунте и в зависимости от его состава формируется определенный профиль тепловых нейтронов

- В результате неупругого рассеяния быстрых нейтронов на ядрах вещества излучаются гамма-кванты определенной для каждого элемента энергии
- Захват нейтрона приводит к быстрому распаду ядра с излучением характеристических гамма-квантов.
- Нейтронная активация приводит к распаду образовавшихся короткоживущих изотопов с излучением соответствующих гамма-квантов.

## Космические проекты ядерной планетологии

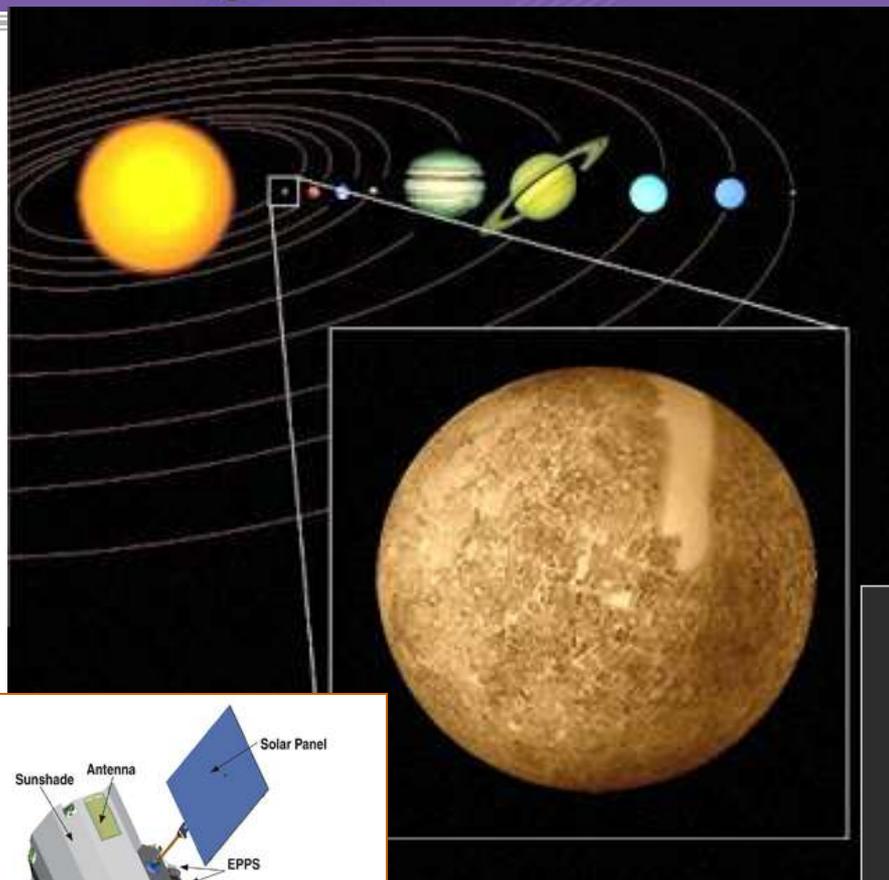
				
	Venera's and VEGA's	Surface data	Luna-10, -12 Apollo-15, -16 Lunar Prospector Kaguya	Mars-5 Phobos-2
<b>Messenger</b>		BTN-Neutron	Lunar Reconnaissance Orbiter	Mars Odyssey  Mars Science Laboratory
<b>BeppiColombo</b>	SAGE	BTN-Neutron-2	Luna-Glob (L-25)  Luna-Resource (L-27)	ExoMars 2016  ExoMars 2018



## **АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ МЕРКУРИЯ:**

- (1) Распространенность на Меркурии естественных радиоактивных изотопов K, Th и U**
- (2) Сравнение и выбор геологических моделей происхождения планеты**
- (3) Выяснение природы радиолокационных аномалий на полюсах планеты**
- (4) Анализ вещества на «горячих» меридианах Меркурия**

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ – СЦЕНАРИЙ ЭВОЛЮЦИИ – СОВРЕМЕННАЯ ПРИРОДА**



**Спин-орбитальный резонанс 3/2:**

**87.97 / 58.65**

**Эллиптическая орбита:**

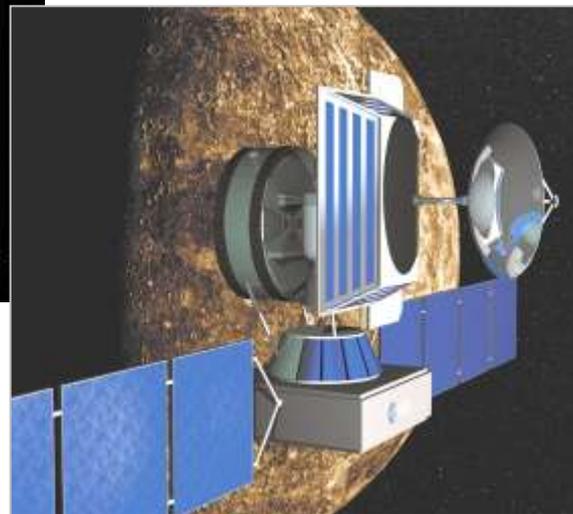
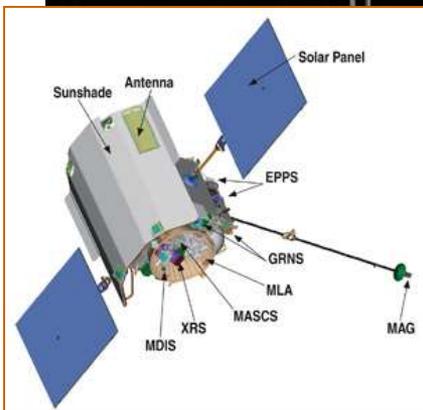
**46 млн км – 70 млн км**

**Перепад температур**

**100 – 700 К**

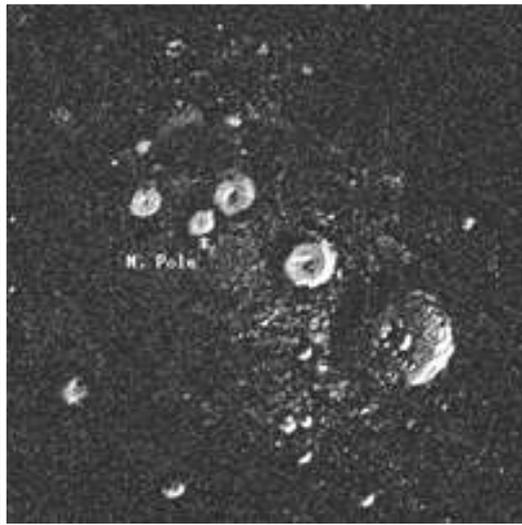
**Магнитное поле**

**0.1 Земного**



**Мессенджер 2005 - 2012**

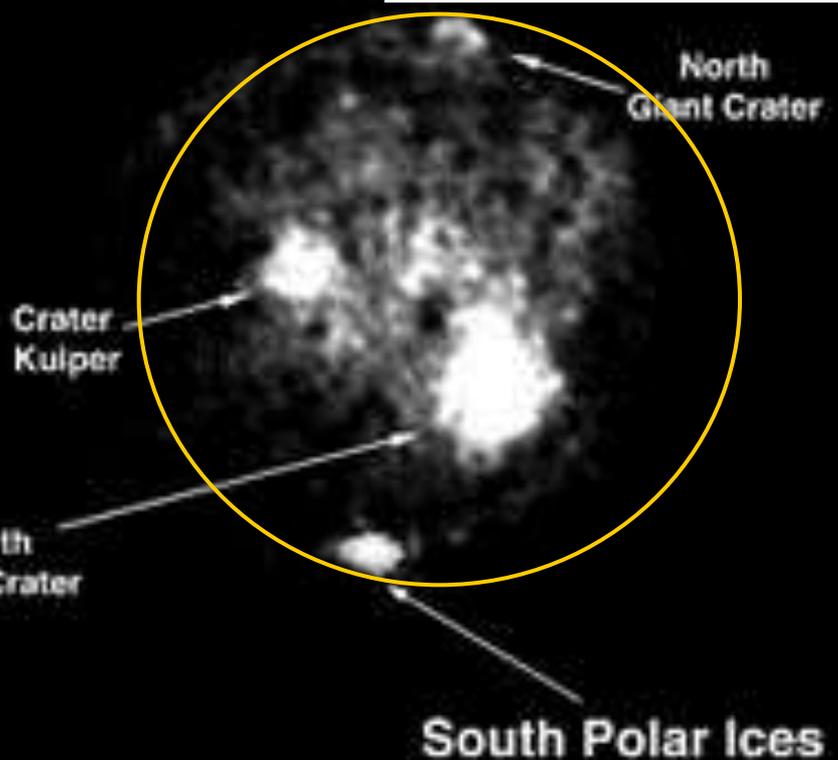
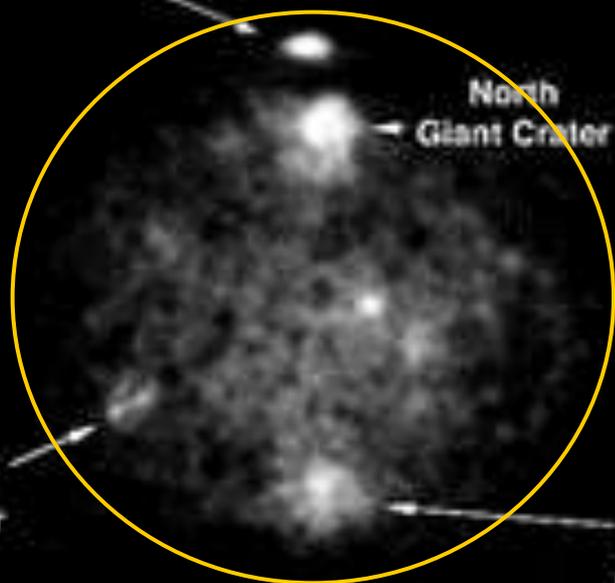
**БепиКоломбо 2015 - 2019**

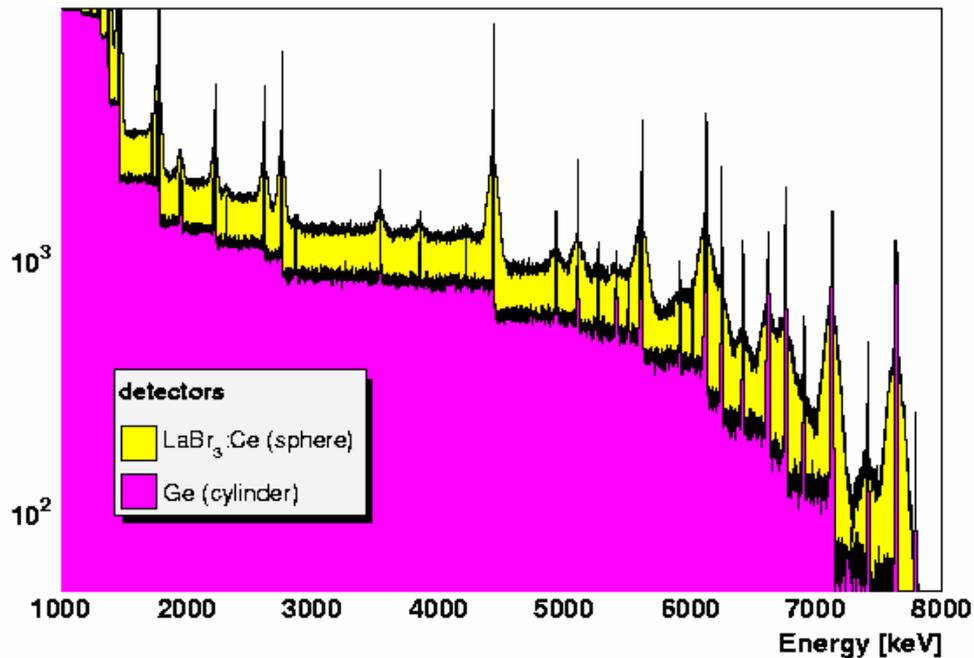


## Goldstone/VLA Radar Maps of Mercury's U

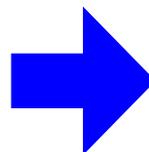
(courtesy of B. J. Butler, M. A. Slade, D. O. Muhler)

### North Polar Ices





2005

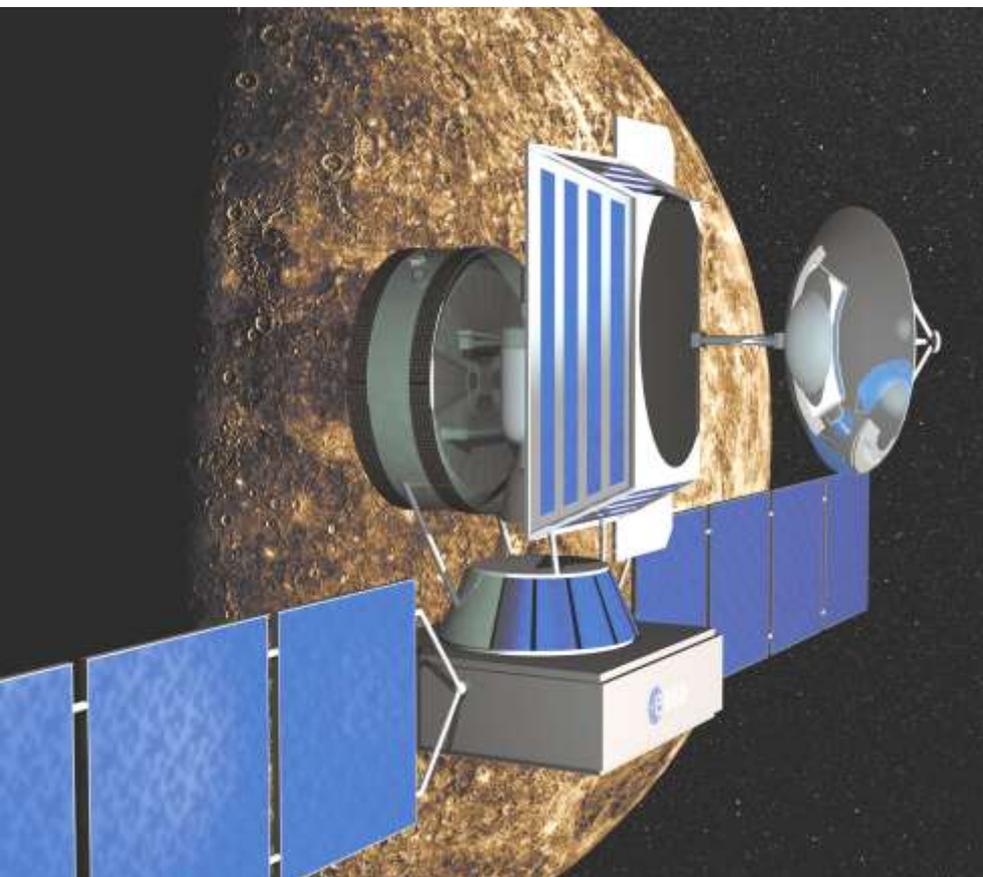


2012



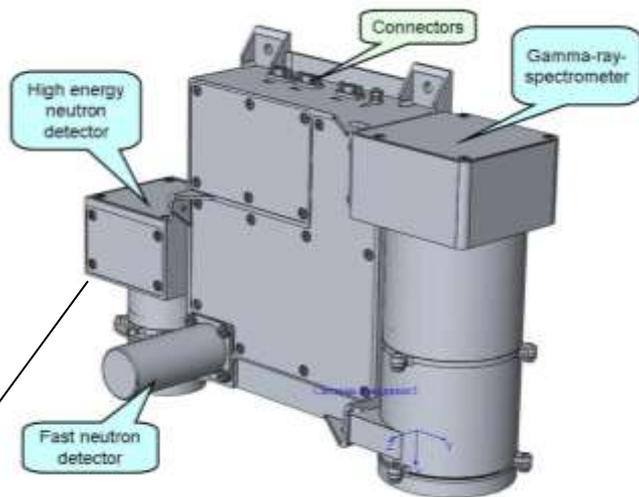


На платах размещены сцинтилляционные кристаллы  
 $(\text{Lu}_{0.5}\text{Y}_{0.5})\text{AlO}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  
 $\text{CsI:Tl}$ ,  
 $(\text{Lu}_{0.7}\text{Y}_{0.3})\text{AlO}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  
 $(\text{Lu}_2\text{SiO}_5):\text{Ce}^{3+}$ ,  
 $\text{NaI:Tl}$ ,  
 $(\text{YAlO}_3):\text{Ce}^{3+}$ ,  
 $(\text{LuAl})\text{O}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  
 $\text{LaBr}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  
 $(\text{LuY})\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$ ,  
 $\text{LaC13}:\text{Ce}^{3+}$

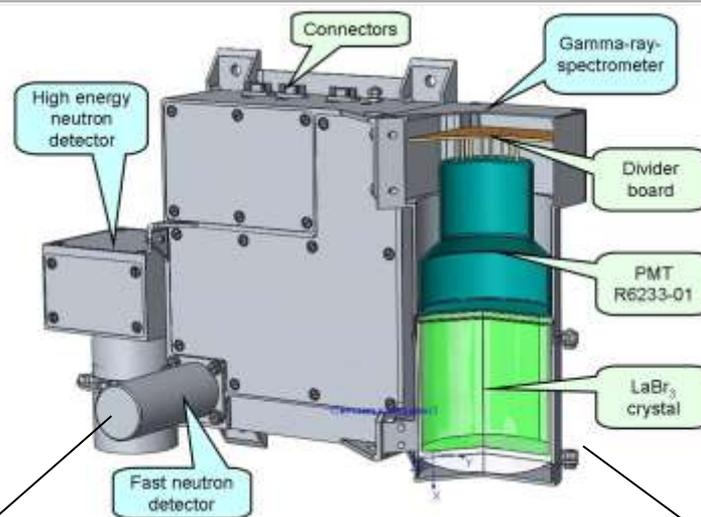
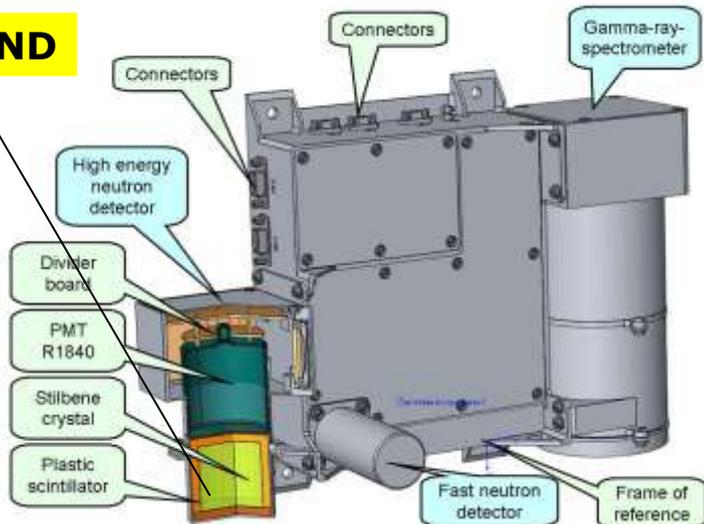


## Россия: МГНС (Меркурианский Гамма и Нейтронный Спектрометр)



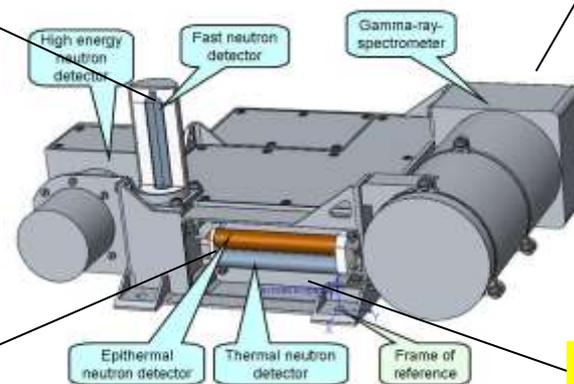


**SCND**



**MD**

**SCGD**



**SD1**

**SD2**

## Планеты земной группы

				
	Venera's and VEGA's	Surface data	Luna-10, -12 Apollo-15, -16 Lunar Prospector Kaguya	Mars-5 Phobos-2
Messenger		BTN-Neutron	Lunar Reconnaissance Orbiter	Mars Odyssey Mars Science Laboratory
BepiColombo	SAGE	BTN-Neutron-2	Luna-Glob (L-25) Luna-Resource (L-27)	ExoMars 2016 ExoMars 2017

**2012 - 2022**

## Система Юпитера



**>2022**