

УДК 523.43

АСТРОНОМИЯ

Академик А. П. ВИНОГРАДОВ, Ю. А. СУРКОВ,
Л. П. МОСКАЛЕВА, Ф. Ф. КИРНОЗОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ И СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ МАРСА НА АМС «МАРС-5»

В последние годы при помощи космических аппаратов, исследующих Луну и планеты, проводятся измерения интенсивности и спектрального состава γ -излучения пород, слагающих поверхностные слои этих небесных тел. Основной целью такого рода экспериментов является определение химического состава и типа пород. Впервые на принципиальную возможность определения типа пород по характеристическому γ -излучению было указано в 1967 г. в ⁽¹⁾. Эта идея впоследствии получила развитие и в ряде расчетных работ: в работах ^(2, 3) рассмотрены некоторые процессы, приводящие к испусканию γ -квантов у поверхности Луны; в работе ⁽⁴⁾ показано, что измерение γ -излучения у поверхности Марса позволит идентифицировать тип марсианских пород.

Первые измерения спектров γ -излучения над лунной поверхностью показали перспективность такого рода исследований ⁽⁵⁾. Гамма-спектрометры, установленные на автоматической межпланетной станции (АМС) «Венера-8» и на космических кораблях Аполлон-15, 16, позволили определить тип пород, слагающих поверхностный слой Венеры и Луны, и содержание в них естественных радиоактивных элементов ^(6, 7). Ниже рассматриваются результаты первого эксперимента по исследованию γ -излучения Марса.

АМС «Марс-5» была выведена на орбиту искусственного спутника планеты в феврале 1974 г. В состав научной аппаратуры входил γ -спектрометр, состоящий из сцинтилляционного детектора с кристаллом NaJ(Tl) диаметром и высотой 63×63 мм², 256-канальной амплитудного анализатора импульсов и вспомогательных электронных блоков. Разрешающая способность γ -спектрометра составляет 11% (по $E_{\gamma}=0,66$ Мэв).

При подготовке спектрометра к эксперименту проводили его калибровку в широком диапазоне энергий γ -излучения с помощью эталонных источников, были установлены закономерности в изменении коэффициента усиления и в дрейфе нуля энергетической шкалы. При обработке γ -спектров, измеренных на АМС, осуществлена коррекция энергетической шкалы прибора в соответствии с параметрами аппаратуры.

В соответствии с программой работы АМС была проведена серия измерений на трассе полета Земля — Марс на расстояниях $61,2 \cdot 10^6$, $85,4 \cdot 10^6$ и $93,8 \cdot 10^6$ км от Земли. Для интервала энергий $\Delta E_{\gamma}=1-8$ Мэв величина зарегистрированной интенсивности составляет в среднем 68 ± 2 импульса в 1 сек. Измеренный на трассе полета фоновый спектр γ -излучения представляет собой непрерывное распределение со слабо выраженными пиками. Это γ -излучение обусловлено, в основном, ядерными взаимодействиями космических лучей с конструкционными материалами АМС «Марс-5» и детектора. Кроме того в него дает вклад радиоизотоп ⁴⁰K, содержащийся в незначительном количестве в материале детектора и станции.

На орбите искусственного спутника Марса проведено несколько сеансов измерения γ -излучения планеты, экспозиция при измерениях в каждом сеансе составляла 60 мин., средняя высота над планетой ~2300 км.

При измерении γ -спектров вблизи планеты детектор регистрирует γ -кванты, приходящие с некоторой эффективной площади, которая определяет предел пространственной разрешающей способности γ -спектрометра. Для определения величины этой площади рассчитаны потоки γ -квантов от шарового слоя планеты с равномерно распределенной радиоактивностью, расчет проводили для высот от 50 см до 10 000 км. Если под эффективной площадью планеты подразумевать участок поверхности, интенсивность излучения с которого составляет 90%, то, например, для $E_\gamma = 3$ Мэв радиус эффективной площади составляет ~ 1600 км при высоте 2000 км.

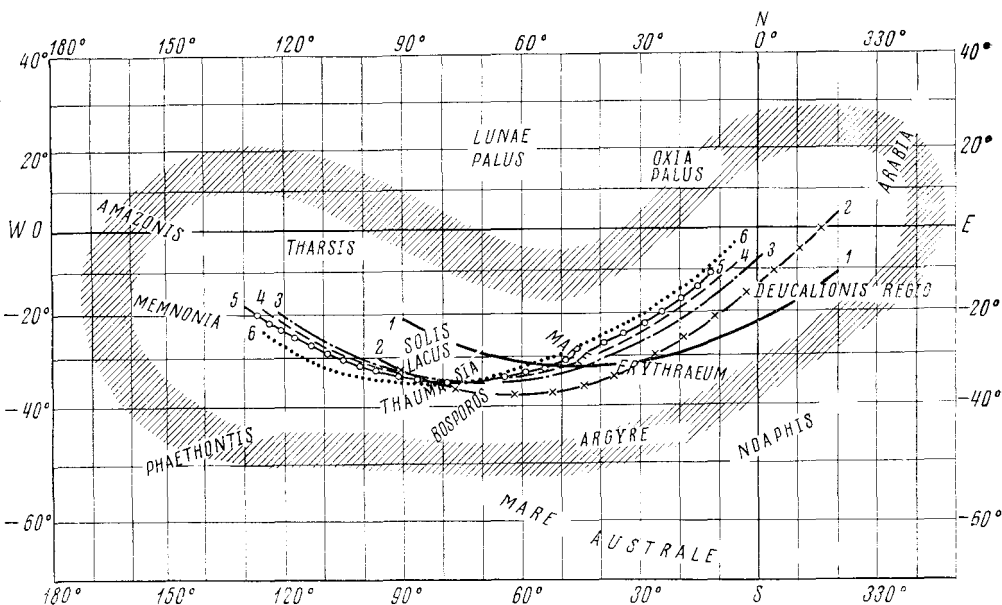


Рис. 1. Участки траектории АМС «Марс-5»

На карте Марса (рис. 1) приведены участки траектории АМС «Марс-5», на которых проводилось включение γ -спектрометра, и эффективная площадь планеты, с которой регистрируется γ -излучение. Внешняя граница заштрихованной полосы определяет область, соответствующую эффективной площади, с которой собирается 90% γ -излучения, внутренняя граница — 50% γ -излучения.

Таким образом, во всех сеансах измерений на АМС «Марс-5» детектор «просматривал» районы, расположенные по широте от $+25^\circ$ до -50° и по долготе от 170° W до 320° E, т. е., главным образом районы Тавмасия, Аргир, Копрат, озеро Феникса, залив Шеба, Жемчужный залив. Поскольку районы, исследуемые во всех сеансах, в значительной степени перекрываются, предварительный этап обработки проводили для получения общей характеристики обширной области.

Для интерпретации полученных данных существенно выяснить влияние рельефа планеты на регистрируемую прибором интенсивность γ -излучения, поскольку изучаемые в настоящем эксперименте районы включают, например, горные массивы Тарсис и Копрат, где встречаются значительные высоты. Расчет влияния рельефа на регистрируемую интенсивность показывает, что при измерениях на высоте 500 км и выше интенсивность увеличивается на не более чем 0,6% от единичной горы высотой 20 км и диаметром основания 100 км. В том случае, если вся «просматриваемая» детектором поверхность покрыта горами высотой 20 км, можно ожидать увеличения интенсивности до 10%. Так как в изучаемых районах Марса по современным представлениям существуют лишь единичные горы зна-

чительной высоты (до 20 км), можно считать влияние рельефа на регистрируемую интенсивность несущественным.

На рис. 2 приведен один из спектров γ -излучения Марса, измеренный с орбиты АМС «Марс-5». Интегральная интенсивность зарегистрированного над планетой γ -излучения в среднем для 4 сеансов составляет 109 ± 6 имп/сек для интервала энергий γ -излучения от 1 до 8 Мэв.

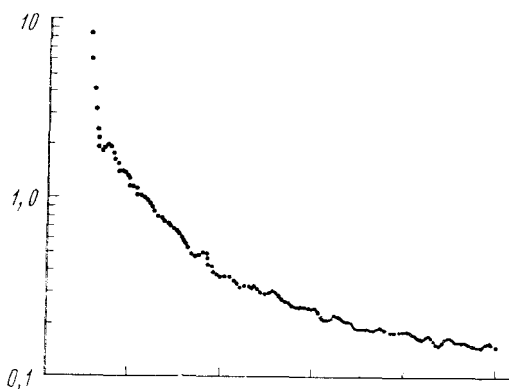


Рис. 2. Спектр γ -излучения, измеренный с орбиты АМС. По оси ординат отложена скорость счета в сек⁻¹, по оси абсцисс — номер канала от 1 до 256

Собственно γ -излучение Марса, определенное путем вычитания фонового излучения, составляет для того же интервала энергий γ -квантов 41 ± 5 имп/сек.

Спектр γ -излучения Марса состоит из характеристического γ -излучения и непрерывного распределения. Характеристическое γ -излучение обусловлено распадом радиоизотопов урана, тория, калия; переходом ядер-продуктов реакций из возбужденного состояния в основное; распадом радиоактивных космогенных изотопов. Все три процесса обусловлены переходом ядер с одного уровня на

другой, поэтому сопровождающее их γ -излучение является характеристическим. Неразрешаемый прибором континуум γ -излучения обязан своим происхождением тормозному излучению частиц высоких энергий; рождению и распаду π^0 -мезонов; рассеянию γ -квантов в толстой мишени. В непрерывный континуум также дает вклад γ -излучение, обусловленное переходами ядер из высоко возбужденных состояний ядер в основные.

Ядерные взаимодействия космических лучей, приводящие к испусканию γ -квантов, имеют место не только в марсианских породах, но также и в атмосфере планеты, которая, таким образом, с одной стороны, является источником собственного γ -излучения, а с другой — поглотителем γ -излучения пород.

Предварительный анализ экспериментальных данных проводили для выяснения вклада γ -излучения естественных радиоизотопов, поскольку сведения о содержании урана, тория, калия несут в себе важную геохимическую информацию.

Из данных, полученных нами при экспериментальном моделировании на ускорителях и высотных аэростатах всех процессов, приводящих к испусканию γ -квантов, определены вклады γ -излучения атмосферы и породы (⁴, ⁸, ⁹). На рис. 3, 1 приведен один из спектров γ -излучения Марса. Слабо выраженные пики соответствуют энергиям γ -излучения 1,4–1,5; 1,8–1,9; 2,5–2,6; 3,5–3,7; 4,4–4,5; 6,0–6,15; 6,8–6,9 Мэв. Гамма-кванты таких энергий обусловлены как распадом калия, тория, урана (1,46; 2,62 и 1,76 Мэв), так и ядерными взаимодействиями космических лучей и вторичных нуклонов (в основном, нейтронов) с элементами, присутствие которых можно ожидать в марсианской атмосфере и породе: углерод (4,43 Мэв), кислород (3,68; 6,13; 6,93 Мэв), магний (1,83; 2,62 Мэв), алюминий (3,54; 6,8 Мэв), железо (1,82; 6,02 Мэв). Рис. 3, 2 представляет собой смоделированный спектр γ -излучения, приведенного космическими лучами в атмосфере и породе. Компонента γ -излучения, обусловленного распадом урана, тория, калия, приведена на рис. 4: заштрихованная полоса показывает область расположения γ -спектров естественных радиоизотопов по данным различных сеансов измерений. Для сравнения на том же графике указаны границы γ -спектров земных пород: кривая 1 соответствует спектру основных пород с низким содержанием урана, то-

рия, калия; кривая 2 — спектру кислых пород с высоким содержанием естественных радиоизотопов.

Используя калибровочные спектры γ -излучения земных пород с известным содержанием урана, тория, калия, можно оценить уровень их содержания в марсианских породах исследуемого района. Предварительная оценка, основанная лишь на анализе интегральных интенсивностей в определенных диапазонах ΔE_γ , показывает, что для обширного района

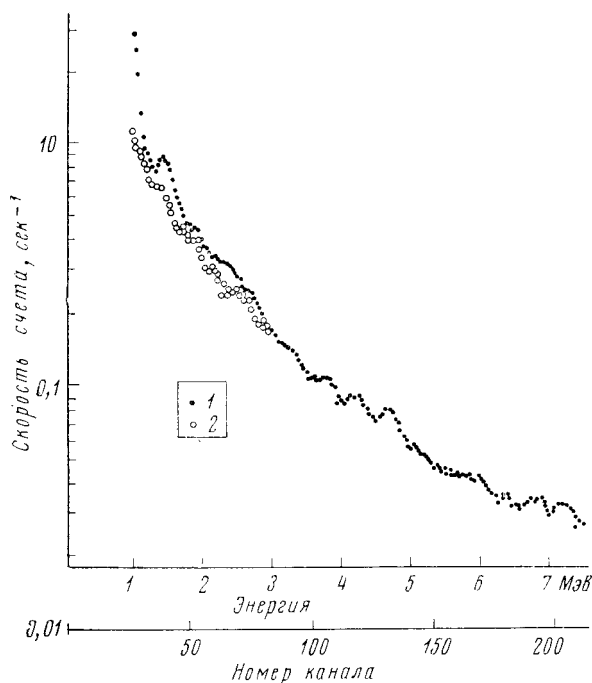


Рис. 3

Рис. 3. Спектр γ -излучения, измеренный с орбиты АМС, за вычетом фона (1) и спектр наведенного γ -излучения (2)

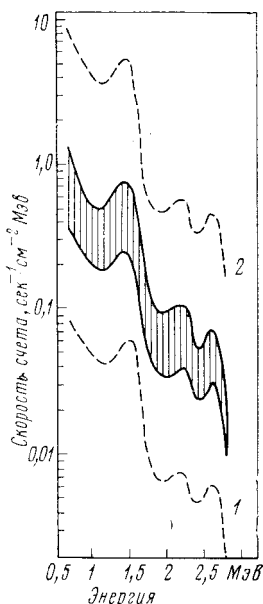


Рис. 4

Рис. 4. Уровни интенсивности γ -излучения естественных радиоизотопов

Марса уровень содержания в породах урана, тория, калия соответствует изверженным земным породам основного состава.

В дальнейшем предполагается провести детальную обработку γ -спектров, в результате чего мы надеемся получить сведения о содержании урана, тория, калия и некоторых породообразующих элементов марсианских пород.

Авторы благодарят С. С. Курочкина, В. А. Распутного и О. П. Щеглова за участие в разработке γ -спектрометра.

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского
Академии наук СССР
Москва

Поступило
18 IV 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. П. Виноградов, Ю. А. Сурков, Л. П. Москалева, Тр. VII сессии КОСПАР, 1967, стр. 71.
- ² T. W. Armstrong, R. G. Alsmiller, Astronaut. acta, v. 14, 143 (1969).
- ³ T. W. Armstrong, J. Geophys. Res., v. 77, № 4, 524 (1972).
- ⁴ Ю. А. Сурков, Л. П. Москалева, В. П. Харюкова, Space Research, т. 9, 1971, стр. 181.
- ⁵ А. П. Виноградов, Ю. А. Сурков и др., Космические исследования, т. 5, в. 6, 374 (1967).
- ⁶ А. П. Виноградов, Ю. А. Сурков и др., Геохимия, № 1, 3 (1973).
- ⁷ R. C. Reedy, J. R. Arnold, J. I. Trombka, J. Geophys. Res., v. 78, 5847 (1973).
- ⁸ Ю. А. Сурков, Л. П. Москалева и др., Прикладная ядерная спектроскопия, в. 3, 246 (1972).
- ⁹ Ю. А. Сурков, Л. П. Москалева, Тезисы докладов Всесоюзной конференции по физике космических лучей, Ташкент, 1968, Изд-во АН СССР.