

ГЕОХИМИЯ

Г. В. ГОРШКОВ, Н. М. ЛЯТКОВСКАЯ, А. Г. ГРАММАКОВ и В. С. ЖАДИН  
 К ВОПРОСУ О НЕЙТРОННОМ ИЗЛУЧЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком В. И. Вернадским 27 III 1938)

Известно, что при бомбардировке  $\alpha$ -лучами ряд легких элементов, как то: тяжелый водород, литий, бериллий, бор, азот, фтор, натрий, магний, алюминий, фосфор, хлор и др., из которых в земной коре значительное распространение имеют только алюминий, натрий и магний\*, испускает нейтроны (1, 2). Известно также, что в земной коре в тех или иных количествах повсюду рассеяны радиоактивные элементы. Естественно поэтому предположить, что  $\alpha$ -лучи радиоактивных веществ, бомбардируя ядра этих элементов, будут создавать в земной коре нейтроны. В тяжелой воде и в бериллии нейтроны будут возникать также под влиянием  $\gamma$ -лучей радиоактивных веществ (4). Грубые расчеты показывают, что нейтронное излучение земной коры будет чрезвычайно слабо, однако в виду отсутствия точных данных о выходе нейтронов из упомянутых выше элементов при воздействии на них  $\alpha$ -лучей различных радиоактивных веществ, о скоростях нейтронов и об истинном поглощении нейтронов, обладающих различной энергией, теоретически оценить эффект нейтронного излучения земной коры с достаточной уверенностью в настоящее время не представляется возможным.

Цель настоящей работы заключалась в ориентировочной экспериментальной оценке нейтронного излучения горных пород. При выборе экспериментальной установки необходимо было предусмотреть максимально благоприятные условия для обнаружения нейтронов в присутствии довольно интенсивного  $\gamma$ -излучения. Этому требованию удовлетворяет счетчик Вина-Вильямса, однако в виду сложности и длительности его устройства мы решили воспользоваться серебряным счетчиком, служившим одновременно и облучаемой мишенью.

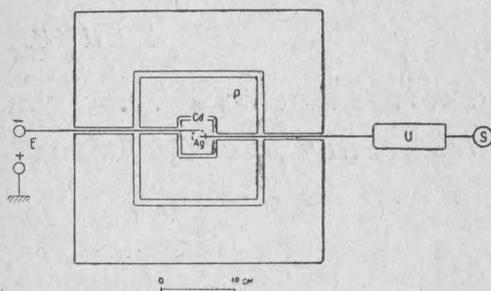
Для того чтобы по возможности уменьшить фон  $\gamma$ -лучей, серебряный счетчик был помещен в чугунную броню со стенками в 8 см толщины. Схематически чертеж установки изображен на прилагаемой фигуре. Здесь  $E$ —высокое напряжение (батарея сухих элементов на 1 500 В),  $Ag$ —серебряный счетчик длиной 6 см (действующая длина), с внешним диаметром 1.8 см, со стенками 0.15 см толщины,  $Cd$ —кадмиевый экран

\* Согласно Кларку (3) средний состав изверженных пород, составляющих основную часть земной коры, следующий:  $SiO_2$ —59.12%,  $Al_2O_3$ —15.34%,  $Fe_2O_3$ —3.08%,  $FeO$ —3.8%,  $MgO$ —3.49%,  $CaO$ —5.08%,  $Na_2O$ —3.84%,  $K_2O$ —3.13%,  $TiO_2$ —1.05%,  $P_2O_5$ —0.30% и прочие—1.77%.

с толщиной стенок 0.6 мм (или железный экран эквивалентной толщины), *P*—парафиновый экран толщиной 5.5 см, *F*—чугунный экран в 8 см толщины, *U*—усилитель Джонсона, *S*—механический счетчик, максимальная счетная скорость которого была около 1 700 импульсов в минуту.

Чугунный экран имел форму полой призмы и закрывался с передней и задней стороны чугунными плитами в 6 см толщины.

Исследование интенсивности нейтронного излучения состояло из трех серий измерений. Из них первая—предварительная—заключалась в систематическом измерении натурального фона счетчика, окруженного чугу-



ной броней и парафиновым экраном и попеременно железным и кадмиевым экранами. Чередование железного и кадмиевого экранов производилось через каждые 30 мин. Нейтроны, замедленные парафином, попадали на серебряный счетчик через железный экран и активировали счетчик, так как поглощение медленных нейтронов в железе сравнительно незначительно. В случае присут-

ствия кадмиевого экрана вся группа *C* медленных нейтронов поглощалась последним, а так как при наших условиях опыта группа *C* составляла большую часть всех медленных нейтронов, то активация серебряного счетчика в этом случае была незначительной\*. Активацией быстрыми нейтронами вообще можно пренебречь по сравнению с активацией медленными нейтронами, и поэтому в первом приближении можно считать, что разница в фоне счетчика с железным и с кадмиевым экранами будет характеризовать интенсивность нейтронного излучения.

Полученные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эффект с железным экраном			Эффект с кадмиевым экраном			Разность (эффект в 1 мин.)
Общий эффект	За время наблюдения	Эффект в 1 мин.	Общий эффект	За время наблюдения	Эффект в 1 мин.	
10 164	1 075	9.45 ± 0.09	9 796	1 061	9.23 ± 0.09	0.2 ± 0.2

Вторая серия измерений была вполне аналогична первой, но под установку со счетчиком было помещено около 500 кг гранодиорита из Сарым Сахлы с урановыми минералами, с концентрацией 0.2%  $U_3O_8$ , что приблизительно в 200 раз превышает радиоактивность нормальных гранитов. Используемая нами порода имела повышенное по сравнению с нормальным содержание урана и фосфора, однако точного анализа в настоящее время у нас не имеется. Руда была уложена в виде штабеля 100 см длины, 70 см ширины и 50 см толщины. Верхнее основание штабеля располагалось в 40 см от счетчика. Полученные результаты приведены в табл. 2.

\* По данным Амальди и Ферми<sup>(5)</sup> во внутреннем опыте, т. е. при окружении облучаемой мишени парафином со всех сторон, активация серебра медленными нейтронами группы *C* составляет 84% от активации всеми медленными нейтронами.

Таблица 2

Эффект с железным экраном	Эффект с кадмиевым экраном	Разность (эффект в 1 мин.)
$\frac{51\ 902}{1\ 892} = 27.4 \pm 0.12$	$\frac{45\ 622}{1\ 753} = 26.0 \pm 0.12$	$1.4 \pm 0.24$

Для того чтобы проверить, не является ли железо излучателем  $\gamma$ -лучей вследствие примеси в последнем радиоактивных веществ в небольших количествах, нами был поставлен контрольный опыт без железа.

Измерения были произведены в присутствии радиоактивной руды, причем кадмиевый экран вставлялся в установку через 30 мин., в промежуточные же 30 мин. эффект измерялся без железного экрана (счетчик был окружен только чугунным и парафиновым экранами).

Полученные данные приведены в табл. 3, в последнем столбце которой приведен эффект за вычетом поглощения  $\gamma$ -лучей в кадмиевом экране, которое вычислено по простой показательной функции.

Таблица 3

Эффект без кадмия	Эффект с кадмием	Разность (эффект в 1 мин.)
$\frac{36\ 678}{1\ 407} = 26.0 \pm 0.13$	$\frac{30\ 789}{1\ 278} = 23.9 \pm 0.14$	$1.5 \pm 0.27$

Из этой таблицы видно, что эффект нейтронного излучения в пределах погрешности равен эффекту при измерениях с железом, так что отнести ранее полученный эффект в большей своей части за счет заражения железа нет оснований.

Наконец в третьей серии измерений были произведены аналогичные измерения с искусственным препаратом радон + бериллий, силой в 0.3 mCu (в начале измерений). Ампулка располагалась над счетчиком на расстоянии 60 см от его центра.

Полученные данные, исправленные на распад радона во время измерений, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Эффект с железным экраном	Эффект с кадмиевым экраном	Разность (эффект в 1 мин.)
$\frac{69\ 405}{577} = 120 \pm 0.5$	$\frac{63\ 070}{551} = 114 \pm 0.5$	$6 \pm 1$

При этих измерениях присутствовала руда, так что чистый эффект от ампулки с железным экраном равен 92.6, с кадмиевым—88.

Разность, обусловленная нейтронами ампулки, выразится числом 4.6 импульсов в 1 мин. Эти последние измерения служат проверкой чувствительности нашей установки и позволяют оценить нейтронное излучение измеряемой руды. В самом деле, от искусственного препарата мы считали 4.6 нейтронов в 1 мин. и 88  $\gamma$ -квантов в 1 мин., т. е. на 19  $\gamma$ -квантов считали 1 нейтрон.

От руды мы считали 1 нейтрон на каждые 14  $\gamma$ -квантов.

Отсюда можно заключить, принимая во внимание геометрические условия, что от исследуемой руды мы имеем примерно тот же процент нейтронов по отношению к  $\gamma$ -квантам, что и в искусственном препарате радон+бериллий. Если предположить, что нашей установкой отмечалась одинаковая доля нейтронов как от искусственного препарата, так и от руды, то можно ориентировочно считать, что на каждые 2000  $\gamma$ -квантов из руды выходит 1 нейтрон\*.

Интенсивность нейтронного излучения можно выразить и другим способом, что облегчит нам сравнение наших результатов с результатами других авторов, наблюдавших нейтроны в атмосфере (8).

На основании приведенных нами экспериментальных данных нетрудно рассчитать (при предположении, что наша установка отмечает одинаковую долю нейтронов как от искусственного препарата радон+бериллий, так и от естественного объекта), что от породы с радиоактивностью порядка  $\frac{1 \cdot 10^{-12} \text{ г Ra}}{\text{г}}$  мы будем иметь около 2 нейтронов в час через каждый квадратный сантиметр поверхности счетчика, что находится в согласии с данными Фюнфера. Правда, сравнение затруднительно, так как мы считали быстрые, а Фюнфер—медленные нейтроны.

Дальнейшие опыты по изучению нейтронного излучения естественных объектов продолжаются.

Лаборатория радиоактивных методов.  
Центральный научно-исследовательский  
геолого-разведочный институт.  
Ленинград.

Поступило  
1 IV 1938.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> M. S. Livingston a. H. A. Bethe, Rev. of Mod. Physics, **9**, 308 (1937). <sup>2</sup> H. Walke, Phys. Rev., **52**, 669 (1937); **52**, 777 (1937). <sup>3</sup> A. E. Ферсман, Геохимия, том I, 34 гл., стр. 142. <sup>4</sup> J. Chadwick a. M. Goldhaber, Nature, **134**, 287 (1934); L. Szillard a. T. Chalmers, Nature, **134**, 494 (1934). <sup>5</sup> E. Amaldi a. E. Fermi, Phys. Rev., **50**, 899 (1936). <sup>6</sup> Rutherford, Chadwick a. Ellis, Radiations from Radioactive Substances (1936). <sup>7</sup> Amaldi, Hafstad a. Tuve, Phys. Rev., **51**, 896 (1937). <sup>8</sup> E. Fünfer, Naturwiss., **25**, 235 (1937); E. Schopper, Naturwiss., **25**, 557 (1937).

\*  $1\text{mCu Ra+Be}$  испускает каждую секунду  $5.4 \cdot 10^7$  жестких  $\gamma$ -квантов (6) и  $2.5 \cdot 10^4$  нейтронов (7), откуда и получается помеченная в тексте цифра.