УДК 550.34

Н.В.ДЕМИН, В.М.БОНДАРЕНКО

Московский государственный геолого-разведочный университет

МОНИТОРИНГ ПОТОКОВ НЕЙТРОНОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ РАДИОАКТИВНЫМИ ЭМАНАЦИЯМИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Измерения пространственных вариаций тепловых и быстрых нейтронов вблизи земной поверхности показали, что потоки тепловых и быстрых нейтронов прямо коррелируют с удельной радиоактивностью ^{226}Ra, ^{232}Th и содержанием радона в горных породах, причем поток тепловых нейтронов прямо коррелирует с влажностью пород, а поток быстрых нейтронов – обратно.

Observations spacing variations of thermal and rapid neutron's fluxes near the Earth's surface allow to provide following. The thermal and rapid neutron's fluxes directly correlate with the radioactivity ^{226}Ra, ^{232}Th and the contents of radon into different rocks. The thermal neutron's flux directly, and rapid neutron' flux reversely correlate with the moisture of the rocks.

Актуальность исследования естественных (литосферных) потоков нейтронов связана с тем, что, как полагают многие специалисты, малые дозы радиоактивности патогенно влияют (в основном, на генетическом уровне) на биоту. Такие малые дозы формируются и литосферными нейтронами, а учитывая большой взвешивающий коэффициент ($W_R = 20$) эквивалентной дозы для нейтронов в области энергий от 200 кэВ до 2 МэВ, патогенное (или витагенное) воздействие нейтронных потоков является весьма вероятным. Следует подчеркнуть, что до настоящего времени измерения литосферных нейтронов осуществлялось только на урановых рудниках для подсчета запасов урановых руд.

Целью настоящей работы являлось определение корреляции потоков литосферных нейтронов с особенностями состава пород, главным образом с активностью ^{226}Ra и ^{232}Th, а также объемной активностью радона как одного из естественных генераторов нейтронов. Для достижения указанной цели были решены следующие задачи:

- проведены синхронные и совмещенные в пространстве с потоками нейтронов измерения активности ^{226}Ra, ^{232}Th, объемной активности подпочвенного радона и влажности пород;
- найдены закономерные связи между плотностью потоков быстрых и тепловых нейтронов и активностью ^{226}Ra, ^{232}Th, объемной активностью подпочвенного радона и влажностью пород, измеренной в естественном залегании.

Высокоэнергичные α-частицы при взаимодействии с ядрами химических элементов пород будут создавать нейтроны, половина которых выходит в атмосферу. Согласно расчетам, выполненным для характерных минералов, слагающих геологический разрез территории Москвы: песка, каолинита и монтмориллонита – потоки нейтронов достигают 10^{-7}-$9{,}0 \cdot 10^{-4}$) с$^{-1}$·см$^{-2}$. Отношение данных расчета к экспериментальным варьирует в диапазоне 5-25 % для различных типов пород.

Энергия нейтронов, генерируемых по реакции (α, n), $E \approx 1$ МэВ, причем около 70 % приходится на нейтроны с $E \le 0{,}45$ эВ. Остальные 30 % генерируемых нейтронов имеют энергии в диапазоне от 1 МэВ до 0,45 эВ.

Плотность потоков литосферных нейтронов измерялась прибором типа РСУ-01 с

блоком детектирования СБДН-01. Открытый блок детектирования измерял плотность потока тепловых нейтронов. Этот же блок детектирования, помещенный в замедлитель в виде сферы, покрытой кадмиевым экраном, измерял плотность потока быстрых нейтронов. Влияние нейтронов нуклонной компоненты космического излучения исключалось, так как детекторы опускались в шурф глубиной 0,4 м и диаметром 0,2 м.

Потоки литосферных нейтронов зависят от суммарной активности ^{226}Ra+^{232}Th, характеризующей ближайшие окрестности точки измерения, естественную влажность пород в этом же месте и объемную активность подпочвенного радона. Поэтому в шурфах, где производились измерения потоков литосферных нейтронов, синхронно выполнялись определения этих параметров горных пород.

Первичные быстрые ($E = 1$ МэВ) литосферные нейтроны возникают под действием α-излучателей в радиоактивных рядах радия и тория. Таким образом, следует ожидать прямой корреляционной зависимости генерации быстрых нейтронов от содержания (или активности) этих радионуклидов в горных породах. При этом необходимо учитывать, что плотность потока быстрых нейтронов уменьшается с возрастанием влажности пород, так как водород, входящий в состав воды, является аномальным замедлителем быстрых нейтронов. С учетом этих соображений исследовались корреляционные зависимости между плотностью потока быстрых нейтронов и суммарной активностью радия и тория для различной влажности пород (рис.1). Градиент образования быстрых нейтронов от величины суммарной активности радия и тория меняется от $9 \cdot 10^{-5}$ с$^{-1}$·см$^{-2}$/(Бк·кг$^{-1}$) для влажности пород 70 и 75 % до $4 \cdot 10^{-5}$ с$^{-1}$·см$^{-2}$/(Бк·кг$^{-1}$) для влажности 80 %.

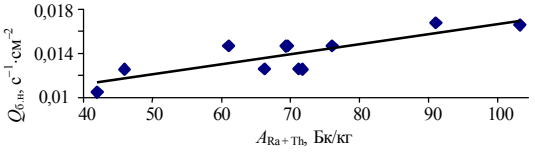


Рис.1. Корреляционная зависимость между плотностью потока быстрых нейтронов $Q_{б.н}$ и суммарной активностью радия и тория $A_{Ra} + Th$ для влажности $W = 70$ %

Одним из генераторов литосферных нейтронов является α-излучение радона и дочерних продуктов его распада, первичным источником которых является ^{226}Ra. Поэтому исследовались корреляционные зависимости между объемной активностью подпочвенного радона и плотностью потока быстрых нейтронов для различных средних значений выборок удельных активностей ^{226}Ra (рис.2). По мере увеличения содержания (удельной активности) радия возрастает и градиент $\Delta Q_{б.н}/\Delta C_{Rn}$ с $4{,}0 \cdot 10^{-7}$ с$^{-1}$·см$^{-2}$/(Бк·кг$^{-1}$) для $A_{Ra} = 33$ Бк/кг до $7{,}0 \cdot 10^{-7}$ с$^{-1}$·см$^{-2}$/(Бк·кг$^{-1}$) для $A_{Ra} = 40$ Бк/кг.

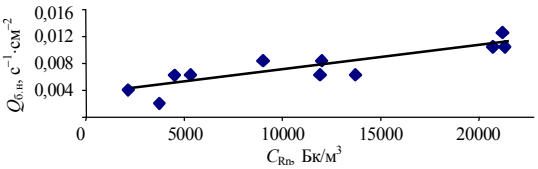


Рис.2. Корреляционная зависимость плотности потока быстрых нейтронов $Q_{б.н}$ от объемной активности подпочвенного радона C_{Rn} для средней активности радия $A_{Ra} = 33$ Бк/кг

Формирование литосферного потока тепловых нейтронов происходит в результате замедления быстрых нейтронов на водороде, поэтому следовало ожидать увеличения плотности потока тепловых нейтронов с ростом влажности пород. Действительно, полученные корреляционные связи для указанных параметров, измеренных синхронно, синхронных во времени и совмещенных в пространстве, показывают прямую зависимость плотности потока тепловых нейтронов от влажности пород (рис.3).

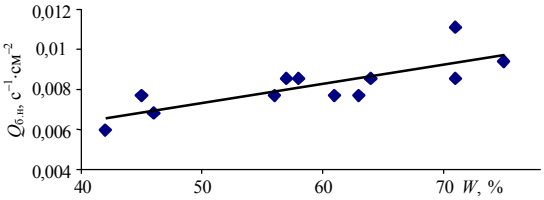


Рис.3 Корреляционная зависимость плотности потока тепловых нейтронов $Q_{т.н}$ от влажности пород W

Полученные результаты могут быть использованы для оценки степени радиоактивности территорий по нейтронному излучению, а также для прогноза геодинамических явлений, влияющих на концентрацию радиоактивных эманаций, которые, в свою очередь, являются одним из источников литосферных нейтронов. Выявленные закономерности и технология измерений потоков литосферных нейтронов используются в курсе лекций по дисциплине «Радиоэкология» при проведении лабораторных работ и учебных практик.