

Н. М. САЛИХОВ<sup>1</sup>, О. Н. КРЯКУНОВА<sup>1</sup>, А. Л. ЩЕПЕТОВ<sup>1,2</sup>, Г. Д. ПАК<sup>1</sup>

## ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОТОКА ГАММА-КВАНТОВ ВТОРИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

<sup>1</sup>ДТОО «Институт ионосферы», г. Алматы

<sup>2</sup>Физический институт им. П. Н. Лебедева, г. Москва

В процессе непрерывного мониторинга гамма-квантов естественного радиоактивного фона, проводимого на Тянь-Шанской станции космических лучей в горах на высоте 3340 м над уровнем моря и в г. Алматы (850 м над уровнем моря) с помощью сцинтиляционного детектора, основой которого является кристалл натрий-йода (NaI), было обнаружено, что после начала выпадения атмосферных осадков интенсивность сигналов сцинтиляционного детектора в области энергий гамма-квантов  $E_{\gamma} \geq 30$  кэВ возрастает, достигая максимума в 20–76 % от уровня обычного фонового значения через 30–40 минут. Аккумуляция радиоактивных веществ в частицах града в 2,3 раза выше, чем в дождевой воде и снеге. Постепенный возврат показателей радиоактивности образцов дождевой воды, града и снега, собранных во время осадков к исходному (до осадков) уровню происходит за один и тот же период времени (~ 2,5 ч), что свидетельствует о единой природе их радиоактивности. Предполагается, что формирование радиоактивности осадков происходит, скорее всего, в верхних, но не прилежащих к земле слоях атмосферы. Загрязнение атмосферы города не оказывает определяющего влияния на радиоактивность осадков.

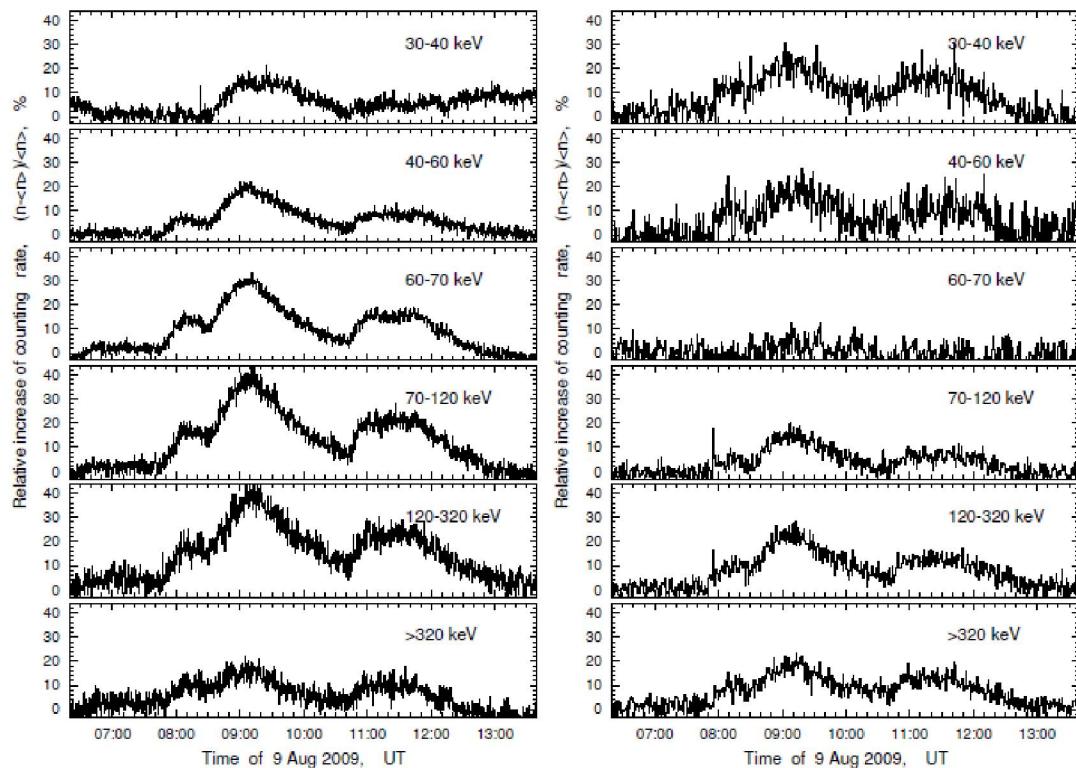
**Введение.** Несмотря на долгую историю изучения радиоактивности осадков [1] и большое количество исследований в этом направлении [2–5], вопрос о происхождении радиоактивности остается до сих пор открытым. Для изучения данного явления выполнено измерение уровня радиоактивности образцов дождевой воды, снега и града, собранных во время атмосферных осадков, а также проведен непрерывный мониторинг гамма-квантов вторичной компоненты космических лучей во время атмосферных осадков в высокогорной (3340 м над ур. м., Тянь-Шанская высокогорная научная станция) и предгорной (850 м, г. Алматы) местности.

**Методика.** Интенсивность космических лучей измерялась с помощью сцинтиляционного детектора, основой которого является кристалл натрий-йода (NaI). Калибровка NaI детектора проводилась с помощью эталонных источников Am-241 ( $E_{\gamma}=60$  кэВ) и Cs-137 ( $E_{\gamma}=660$  кэВ). Счет импульсов гамма-квантов осуществлялся по 10-ти секундным интервалам в шести диапазонах энергий: 20–40, 40–80, 80–200, 200–400, 400–800 и >800 кэВ. Сбор образцов осадков не превышал 5 минут, объем дождевой воды, а также снега и града после их таяния составлял 5 литров. Измерения проводились в закрытых пластиковых сосудах, которые помещались на сцинтиляционный детектор сразу после сбора осадков. Аналогичные измерения выполнены для воды, собранной во время осадков на высоте 3340 м из близлежащего ручья, вытекающего из горных пород. В качестве контроля использовали ледниковую воду, выходящую из гранитных пород, которую собирали в ясный день. Исследования различных радиационных компонент проводятся также на установках Физического института им. П.Н. Лебедева (ФИАН), предназначенных для изучения грозовых явлений на Тянь-Шанской высокогорной станции (3340 м над уровнем моря) [6–8].

### Результаты исследования и их обсуждение

Влияние атмосферных осадков на интенсивность потока гамма-квантов вторичного космического излучения приведено на рис. 1.

Данные двух детекторов гамма-излучения I и II показывают для шести интервалов энергий временные изменения относительных возрастаний интенсивности сигналов  $n$  больше их средней величины  $\langle n \rangle$ , которая наблюдалась перед приближением дождевого облака ( $n - \langle n \rangle \rangle / \langle n \rangle$ ). Типичные величины средних значений  $\langle n \rangle$  для 10-секундных измерений находятся в пределах 1000–7000 (в зависимости от расположения сцинтиллятора и области энергий). Видно, что каждый раз после начала осадков, которые в этот день происходили трижды в 7 часов 40 минут, 8 часов 30 минут

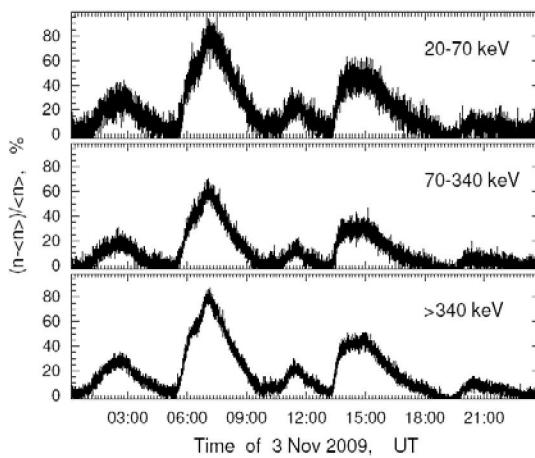


**Рис. 1.** Типичные записи изменения интенсивности потока гамма-квантов во время дождя.  
Сцинтилляционный детектор I (рис. слева) расположен на 120 м выше сцинтилляционного детектора II (рис. справа),  
3340 м над уровнем моря

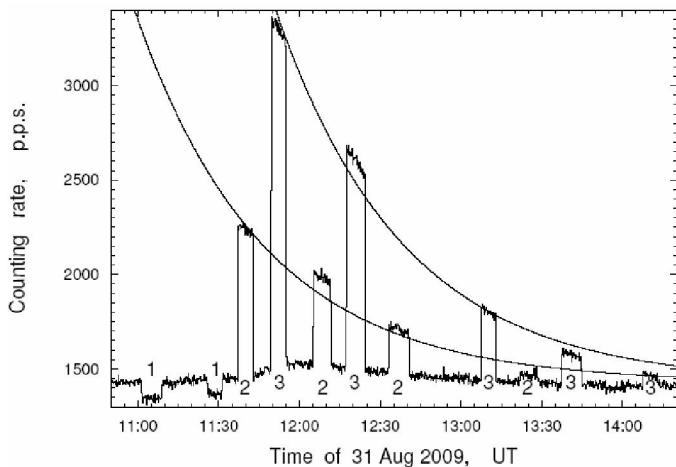
и в 10 часов 40 минут мирового времени (UT), интенсивность сцинтилляционных сигналов начинала расти, достигая максимума через 30–40 минут. После достижения максимума, хотя дождь может продолжаться, скорость счета детектора снижается по экспоненте до обычного уровня через 1,5÷2 часа. Такое поведение сцинтилляционных сигналов является типичным и повторяется во время каждого дождя. Относительные величины возрастаний интенсивности, вызванных осадками, не являются одинаковыми, а зависят от высоты расположения конкретного сцинтиллятора. Как показано на рисунке 1, максимальные относительные значения интенсивности, достигающие 40 %, наблюдаются во время дождя в 4 и 5 областях энергий (100÷300 кэВ) для детектора I, расположенного непосредственно внутри дождевого облака на самой высокой точке относительно уровня Тянь-Шанской станции космических лучей. В два раза меньшие возрастания по амплитуде, достигающие 15÷20 %, наблюдались в том же энергетическом диапазоне, но на детекторе II, который расположен на 120 м ниже детектора I - на уровне Тянь-Шанской станции (рис. 1). Следовательно, можно сказать, что возрастания относительной интенсивности сцинтилляционных сигналов во время осадков увеличиваются с высотой наблюдений, достигая максимума на высоте прохождения дождевых облаков.

Аналогичные измерения скорости счета гамма-излучения на сцинтилляционном детекторе наблюдались также во время продолжительного дождя на высоте 850 м над уровнем моря в г. Алматы (рис. 2). Следует отметить, что при непрерывно продолжающемся в течение дня дожде, зарегистрированная интенсивность достигала нескольких максимумов, возвращаясь к одному и тому же первоначальному уровню через характерное время 1,5÷2 часа, как и во время измерений в горах. Увеличение интенсивности потока гамма-квантов могло достигать и 76%, как это было зарегистрировано на детекторе, расположенному в г. Алматы на высоте 850 м над уровнем моря (рис. 2).

Динамика повторных всплесков радиоактивности, как показано на рис. 2, свидетельствует, что антропогенное загрязнение городского воздуха не вносит, по-видимому, заметного вклада в радиоактивность атмосферных осадков.



**Рис. 2.** Вариации интенсивности гамма-квантов во время непрерывного дождя 3 ноября 2009 г. на высоте 850 м г. Алматы



**Рис. 3.** Изменение скорости счета сцинтилляционного детектора (с порогом энергии  $E_\gamma \geq 20$  кэВ) во время дождя и града 31 августа 2009 г. (h 3340 м).

Обозначения: 1 – установка сверху на кристалл сцинтиллятора контрольной пробы воды; 2 – последовательное размещение на детекторе одной и той же пробы дождевой воды; 3 – последовательное (на протяжении более 2-х часов) размещение на детекторе одной и той же пробы подтаявшего града

Измерение уровня радиоактивности образцов дождевой воды, снега и града, собранных во время атмосферных осадков показало, что радиоактивность града была в ~ 2,3 раза выше, чем дождевой воды (рис. 3).

Полученные данные указывают, что аккумуляция радиоактивных веществ в частицах града значительно выше, чем в дождевой воде. Обращает внимание, что уменьшение интенсивности гамма-излучения от образцов воды, града и снега происходило за одно и то же время (~ 2,5 ч), что, по-видимому, свидетельствует о единой природе их радиоактивности. В то же время размещение на гамма-детекторе проб воды, взятых во время ливневого дождя из близлежащего ручья, протекающего через гранитные породы, не сопровождалось ростом радиоактивности. Напротив, при этом наблюдалось поглощение гамма-излучения, эквивалентное контрольным образцам воды.

**Заключение.** Считается, что радиоактивность атмосферы определяется в основном радоном, который, выделяясь из гранитных пород, аккумулируется в аэрозолях дождевых облаков. В исследованиях, проведенных на высотах 3340 и 850 м над уровнем моря установлено, что интенсивность гамма-квантов вторичной компоненты космических лучей резко возрастает во время выпадения осадков (дождь, град, снег) и постепенно снижается по мере уменьшения осадков, что по общепринятым мнению отражает очищение атмосферы от радиоактивных загрязнений. Однако, при продолжении дождя в условиях «очищенной» атмосферы мы наблюдали повторный и более выраженный рост интенсивности гамма-квантов вслед за повторным увеличением осадков. Максимальное увеличение интенсивности потока гамма-квантов во время выпадения осадков наблюдалось в диапазоне энергий 100-400 кэВ. Иногда дожди сопровождались грозами, но это не оказывало видимого влияния на радиоактивность осадков.

Установлено, что выпадение осадков в виде дождя, града и снега значительно повышает радиоактивность приземной атмосферы. Аккумуляция радиоактивных веществ в частицах града, судя по приросту интенсивности гамма-квантов вторичной космической компоненты, в 2,3 раза выше, чем в дождевой воде и снеге. Последующий постепенный возврат показателей радиоактивности образцов дождевой воды, града и снега, собранных во время осадков, к исходному (до осадков) уровню происходит за один и тот же период времени (~ 2,5 ч), что свидетельствует о единой природе их радиоактивности. Такое изменение интенсивности сцинтилляционных сигналов повторяется каждый раз во время осадков. Полученные данные свидетельствуют, что эманация радона из горных гранитных пород является не единственным источником радиоактивности атмосферных осадков. Предполагается, что формирование радиоактивности осадков происходит,

скорее всего, в верхних, но не прилежащих к земле слоях атмосферы. По-видимому, загрязнение атмосферы города не оказывает определяющего влияния на радиоактивность осадков. Работа показала, что мониторинг интенсивности потока естественного излучения гамма-квантов вторичного космического происхождения позволяет выявить даже незначительные изменения радиоактивного фона приземных слоев атмосферы. Поэтому представляется перспективным дальнейшее развитие этого направления, в частности, и для контроля за антропогенным загрязнением атмосферы города.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Clay J., et al. High energy electrons produced in a thunderstorm // Physica. 1952. V 18, N 11. P. 801-808.
2. Gaso M.I., et al. Atmospheric radon concentration levels // Radiation Measurements. 1994. V. 23, N 1. P. 225-230.
3. Jayanthi U.B., et al. Ground gamma radiation associated with lightning and rain precipitation // 29<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference. Pune, 2005. P. 101-104.
4. Torii T. Generation of Runaway Electrons Induced by Radon Decay Products in Thundercloud Electric Fields // American Geophysical Union Fall Meeting 2007, abstract #AE31A-0044.
5. Greenfield M.B., et al. Determination of rain age via  $\gamma$  rays from accreted radon progeny // Journal of Applied Physics. 2008. V. 104, N 7: 074912-074912-9.
6. Chubenko A.P., et al. Intensive X-ray emission bursts during thunderstorms // Physical Letters A. 2000. V. 275. P. 90-100.
7. Chubenko A.P., et al. Effective growth of a number of cosmic ray electrons inside thundercloud // Physical Letters A. 2003. V. 309. P. 90-102.
8. Gurevich A.V., et al. Experimental evidence of giant electron-gamma bursts generated by extensive atmospheric showers in thunderclouds. Physical Letters A. 2004. V. 325. P. 389-402.
9. Gurevich A.V., et al. Gamma-ray emission from thunderstorm discharges // Physical Letters A. 2011. V. 375. P. 1619-1625.
10. MacGregor L., et al. Hailstones as cloud water composition probes: An initial assessment. Atmospheric Environment. Part A // General Topics. 1990. V. 24, N 8. P. 2247-2251.

Н. М. Салихов, О. Н. Крякунова, А. Л. Щепетов, Г. Д. Пак

#### АТМОСФЕРАЛЫҚ ЖАУЫН-ШАШЫНЫҢ ЕКІНШІЛІК ҒАРЫШТЫҚ СӘУЛЕЛЕНУДІҢ ГАММА-КВАНТТЫҚ АҒЫН ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫНА ӨСЕРІ

Теніз деңгейінен 3340 м және Алматы қ. (теніз деңгейінен 850 м жоғарыда) жоғары болатын таудағы Тянь-Шань ғарыштық сәулелер станциясында жүргізілетін табиғи радиоактивті фонның гамма-кванттарын натрий-йод (NaI) кристалына негізделген сцинтилляциялық детектор арқылы үздіксіз мониторингілеу процесінде мынандай нәтижелер алынған:

Атмосфералық жауын-шашының басталуынан соң сцинтилляциялық детектор сигналдарының қарқындылығы гамма-кванттар энергияларының  $E_{\gamma} \geq 30$  кэВ облысында 30-40 минут өткенде әдеттегі фон мәні-нің деңгейінен 20-76 % максимумға дейін артады. Бұршақ бөлшегіндегі радиоактивті заттардың жинақталуы жаңбыр суы мен қардағыдан 2,3 есе жоғары болады. Жауын-шашын кезінде жиналған жаңбыр суының, бұршақтың және қардың сынамаларындағы радиоактивтілік көрсеткіштерінің біртіндеп алғашқы қалпына келуі уақыттың мерзімдік бір өлшемінде ( $\sim 2,5$  сағ.) өтеді, бұл радиоактивтілік табиғатының бірынғай екендігін дәлелдейді. Алынған нәтижелер бойынша мынандай болжам жасауға болады: жауын-шашын радиоактивтілігін түзілуі атмосфераның жерге жана спайтын жоғарғы қабатында орын алады. Қала атмосферасының ластануы жауын-шашын радиоактивтілігіне нақтылы бір өсерін тигізбейді.

N. M. Salikhov, O. N. Kryakunova, A. L. Shepetov, G. D. Pak

#### AN INCREASE OF THE SOFT GAMMA-RADIATION BACKGROUND BY PRECIPITATIONS

In a continuous monitoring of the natural radioactive background held in Tien-Shan mountains at a height of 3340 m above the sea level, and in Almaty city at 850 m a.s.l. with inorganic NaI scintillation gamma-detectors it was found, that after beginning of a precipitation period the intensity of scintillation signals in the range of gamma-radiation energies  $E_{\gamma} \geq 30$  keV starts to grow, its maximum (up to 20 – 76% above the usual background level) being achieved 30 – 40 minutes later. The record of scintillation counting rate from the water of melted hailstones in 2.3 higher than from rain-water and snow-water. After the maximum the counting rates exponentially return to their background levels during the period of 2.5 hours, what indicate about united radioactivity source. The source of additional radioactivity is connected with the region of precipitation formation, i.e. with the upper, but not with near-earth, atmosphere. Pollution of the atmosphere of city does not render defining influence on a radioactivity of precipitation.