

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАММА-КВАНТОВ ВТОРИЧНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ С ОРГАНИЗМОМ ЧЕЛОВЕКА

**Салихов Н.М., Пак Г.Д.,<sup>1</sup>Самойленко Т.В.<sup>1</sup>**

«Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»

<sup>1</sup>«Институт физиологии человека и животных» Министерство образования и науки  
050020, Республика Казахстан, г. Алматы, Каменское плато

**E-mail:** [n1@nursat.net](mailto:n1@nursat.net) [gpak1@yandex.ru](mailto:gpak1@yandex.ru)

Ионизирующее гамма-излучение, которое возникает при прохождении космических лучей через земную атмосферу, является одним из природных факторов окружающей среды. В среднегорье и высокогорье интенсивность ионизирующей радиации, в том числе и гамма-излучения, выше, чем на уровне моря, и человек в условиях гор постоянно подвергается действию «малых» доз радиации. Однако в настоящее время не сложилось единого мнения о биологическом действии «малых» доз ионизирующей радиации на организм, на их опасность или пользу для человека [1]. В то же время условия среднегорья и даже высокогорья успешно используются для оздоровления людей, профилактики и реабилитации различных заболеваний, в спортивной практике [2, 3].

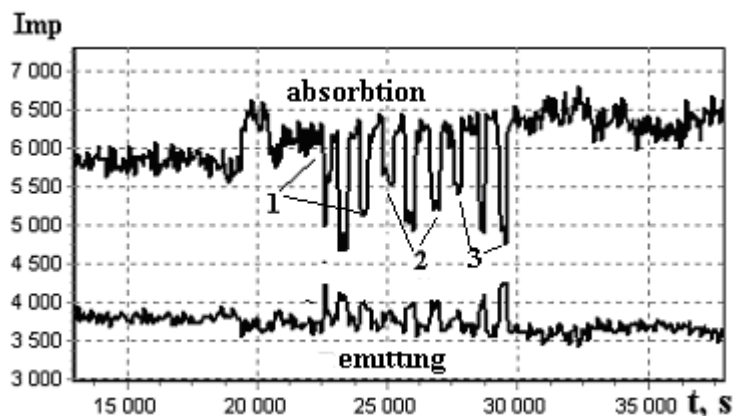
Не только уровень ионизирующей радиации, но и флуктуации гамма-излучения влияют на организм. Выявлены резонансные взаимоотношения волновой структуры ритма сердца и мощности ее колебаний с вариациями интенсивности потока гамма-квантов вторичной космической компоненты, а также существенные отличия восприимчивости организма к колебаниям интенсивности гамма-излучения у лиц с высоким и низким уровнем вегетативного контроля [4].

Вопросы влияния естественного радиационного фона, малых доз ионизирующих излучений на организм привлекают повышенное внимание исследователей [5, 6, 7, 8]. Взгляд на радиацию как на необходимое условие для полноценной жизни и противоречивость в оценке действия «малых» доз радиации на организм подчеркивают актуальность исследований в этом направлении. Данная работа предпринята для выяснения механизмов влияния природного гамма-излучения вторичной космической компоненты в условиях высокогорья на организм человека.

Методика. Работа выполнена на Тянь-Шанской высокогорной научной станции (ТШВНС), расположенной на высоте 3340 м над уровнем моря вблизи г. Алматы. Интенсивность потока гамма-квантов вторичной космической компоненты измерялась с помощью сцинтилляционного детектора, основой которого является кристалл натрия-йода (NaI). Световые вспышки, образующиеся в кристалле при прохождении космических лучей - гамма-квантов, регистрировались фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Сигналы с ФЭУ через усилитель подавались на компараторы и пересчетные схемы, а затем, после обработки компьютером, средние значения их текущей интенсивности сохранялись в виде файлов в базе данных (с 10-секундным временным разрешением). Калибровка энергетического разрешения NaI детектора проводилась с помощью эталонных источников радиоактивности Am-241 ( $E_{\gamma}=60$  кэВ) и Cs-137 ( $E_{\gamma}=660$  кэВ). Взаимодействие гамма-излучения с организмом анализировалось в диапазоне энергий излучения 20 кэВ - 800 кэВ.

Эксперимент заключался в регистрации интенсивности потока гамма-квантов при кратковременном - на протяжении 5-ти минут перекрытии верхней поверхности сцинтилляционного детектора головой (или другой частью тела) обследуемого. Между каждым измерением выполнялась регистрация фоновое гамма-излучения на протяжении не менее 5 минут. Для контроля, в качестве эталонных поглотителей, использовались пластина графита толщиной 24,5х24,5х7,8 см и пластиковая бутылка с талой ледниковой водой объемом 3 л. До и после биологического эксперимента эти поглотители помещались сверху сцинтилляционного детектора в течение 5 мин. В эксперименте приняли участие мужчины и женщины разного возраста - 51 наблюдение, 19 наблюдений с графитом, 14 - с пробой воды.

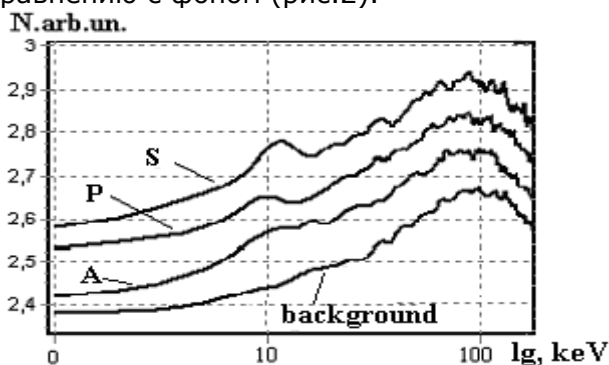
Результаты исследования. Исследование показало, что при покрытии сцинтилляционного детектора различными частями тела испытуемых происходило ослабления внешнего потока гамма-квантов с энергией  $E_\gamma$  больше 100 кэВ. Отмечены различия уровня поглощения гамма-излучения у отдельных испытуемых (рис.1). В то же время, в диапазоне более низких энергий ( $E_\gamma < 100$  кэВ) интенсивность потока гамма-квантов возрастала по отношению к фону, то есть регистрировался дополнительный поток гамма-излучения низкой энергии - эффект «переизлучения» гамма-квантов (по-видимому, связанный с взаимодействием квантов с веществом внутри организма). Величина дополнительной эмиссии низкоэнергичных гамма-квантов, также как и их поглощения, существенно варьировала у разных испытуемых (рис.1).



**Рис. 1. Эффекты поглощения и переизлучения гамма-квантов организмом при последовательном закрытии NaJ детектора различными частями тела (голова, живот, нога) обследуемых 1- 3.**

Известно, что одним из механизмов взаимодействия гамма-излучения с веществом, происходящего с изменением их энергии, является некогерентное рассеяние фотонов на атомных электронах вещества (Комптон-эффект), сечение которого преобладает над другими эффектами (фотоэффектом и рождением пар) в области энергий  $E_\gamma \sim 100$  кэВ для веществ с малым атомным весом [9]. Можно предположить, что потеря гамма-квантами энергии в процессе такого взаимодействия вносит заметный вклад в суммарный поток дополнительного гамма-излучения низкой энергии от организма.

В наших измерениях, при покрытии детектора головой обследуемого систематически наблюдалось отчетливое возрастание интенсивности спектра гамма-квантов в области энергий 10-100 кэВ по сравнению с фоном (рис.2).



**Рис. 2. Энергетические спектры потока гамма-квантов при покрытии верхней поверхности детектора (NaJ) головой испытуемых A, P, S.**

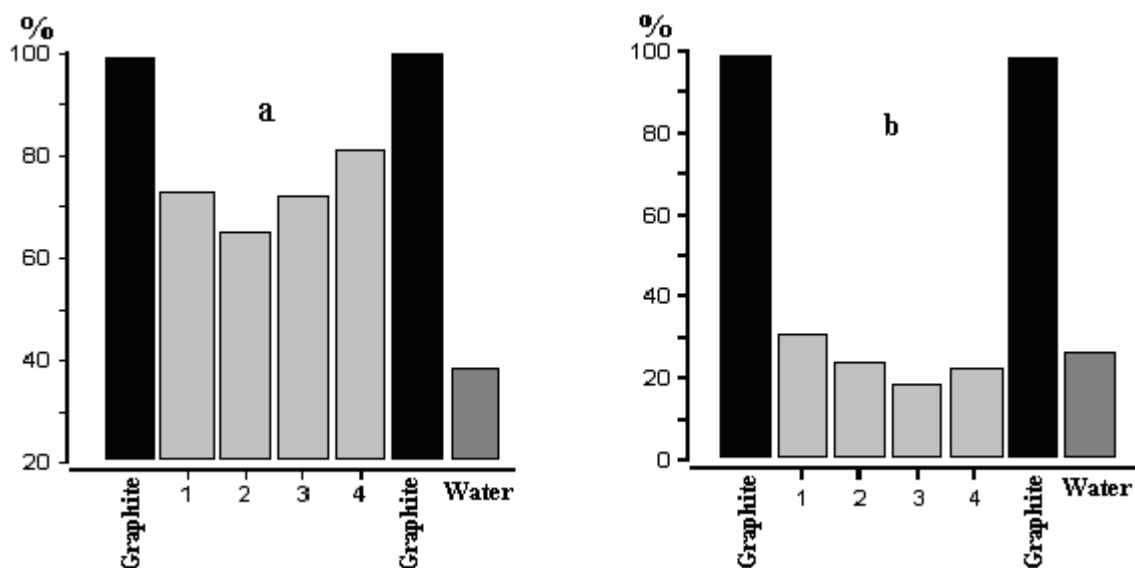
Примечание: на рисунке для наглядности энергетические спектры испытуемых A-i, P-k, S-v смещены по оси Y относительно фонового спектра.

При экранировании верхней поверхности детектора емкостью с водой также наблюдалось понижение уровня гамма-излучения в диапазоне энергий  $E_\gamma$  больше 100 кэВ и незначительное повышение - в диапазоне энергий  $E_\gamma$  меньше 100 кэВ. Аналогичные, но

закономерно более выраженные изменения отмечены при размещении на детекторе пластины графита. В таблице приведены средние показатели взаимодействия гамма-излучения с веществом (графит, вода) и организмом человека.

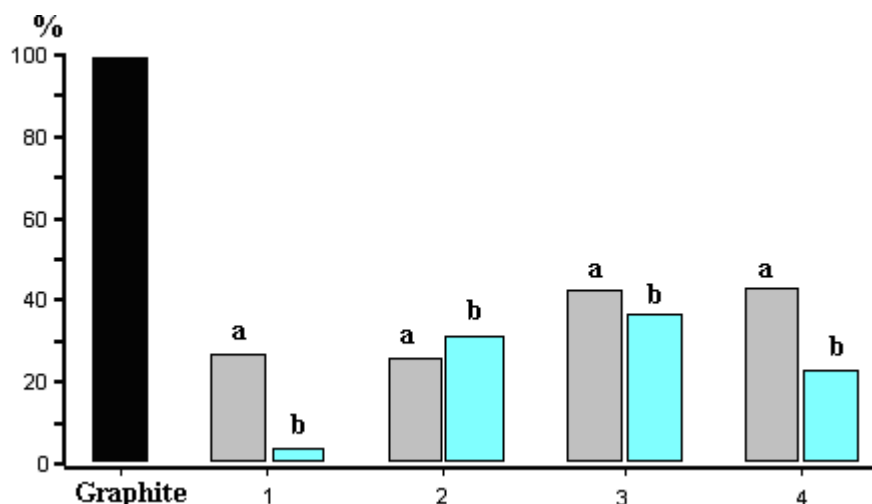
| <b>Таблица.</b> Изменение интенсивности природного потока гамма-квантов при покрытии верхней поверхности сцинтилляционного детектора поглотителями (графит, вода) и головой испытуемого. |                                                                      |                    |                    |                    |                    |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| Стат. показатель                                                                                                                                                                         | Изменение интенсивности потока гамма-квантов по сравнению с фоном, % |                    |                    |                    |                    |                        |
|                                                                                                                                                                                          | Голова                                                               |                    | Графит             |                    | Вода               |                        |
|                                                                                                                                                                                          | $E_{\gamma} > 100$                                                   | $E_{\gamma} < 100$ | $E_{\gamma} > 100$ | $E_{\gamma} < 100$ | $E_{\gamma} > 100$ | $E_{\gamma} < 100$ кэВ |
| M                                                                                                                                                                                        | -<br>34.03                                                           | 3,43               | -<br>43,50         | 10,5               | -<br>17.34         | 1.70                   |
| $\sigma$                                                                                                                                                                                 | 14,00                                                                | 2,24               | 2,49               | 3,81               | 2,96               | 0,89                   |
| $\pm m$                                                                                                                                                                                  | 2,24                                                                 | 0,36               | 0,59               | 0,85               | 0,79               | 0,24                   |
| n                                                                                                                                                                                        | 39                                                                   |                    | 18                 |                    | 14                 |                        |

Количественный показатель поглощения природного гамма-излучения при прохождении через пластину графита характеризовался постоянством и мало зависел от колебаний интенсивности фонового потока гамма-квантов вторичной космической компоненты. Поэтому дальнейший анализ взаимодействия гамма-излучения с организмом был выполнен в сравнении с графитом, показатели которого приняты за 100% (рис.3). В измерениях с испытуемыми было установлено, что в организме поглощается до 65%– 80% общего потока гамма-квантов с энергией свыше 100 кэВ, относительно их поглощения в графите. В меньшей степени интенсивность высокоэнергичных гамма-квантов ослабляется при прохождении излучения через 3-х литровую емкость с водой (рис.3а). В то же время, дополнительный поток гамма-излучения низкой энергии ( $E_{\gamma} < 100$  кэВ), возникающий при взаимодействии квантов с веществом в организме испытуемых, оказывается существенно меньшим, чем такое же излучение от графита, и сопоставимо с таковым же для пробы воды (рис. 3в).



**Рис. 3. Сравнение интенсивности поглощения (а) и переизлучения (б) гамма-квантов при покрытии детектора поглотителями (графит, вода) и головой испытуемых 1-4.**

Внутреннее гамма-излучение, как правило, связывают с радионуклидами, попадающими из окружающей среды в организм человека с пищей, водой, воздухом [10]. Однако проведенные нами повторные измерения в течение года у одних и тех же испытуемых показали, что интенсивность излучения гамма-квантов головой может, как понижаться, так и увеличиваться (рис.4).



**Рис. 4. Повторные измерения интенсивности потока гамма-квантов при покрытии детектора головой у одних и тех же испытуемых.**

Обозначения: 1- 4 - испытуемые. Измерения а и b проведены с интервалом до года.

В случае излучения от радионуклидов, находящихся внутри организма, снижения интенсивности гамма-излучения не происходило бы. Для того чтобы подтвердить этот вывод, был выполнен эксперимент с экранированием гамма-детектора свинцом. Установлено, что круговое обертывание датчика 20 мм пластинами свинца с сохранением открытого окна для головы приводило к 4х - кратному ослаблению интенсивности внешнего гамма-излучения и исчезновению эффекта переизлучения от головы. Эффект поглощения гамма-квантов организмом сохранялся приблизительно в том же процентном соотношении, что и до обертывания.

**Обсуждение.** Появляется все больше доказательств того, что излучение природного радиоактивного фона является необходимым условием поддержания жизнедеятельности организмов [11, 12]. Полученные нами данные выявляют роль гамма-излучения природного радиационного фона как одного из экологических факторов, участвующих в регуляции энергетических потоков в организме.

Все живое на Земле периодически подвергается действию малых доз радиационного гамма-излучения. Интенсивность природного гамма-излучения существенно возрастает при выпадении осадков [13], во время геомагнитных бурь. Нами установлено, что на территории ТШВНС (место проведения экспериментов) во время выпадения осадков в виде града, снега и особенно дождя интенсивность потока гамма-квантов могла возрастать до 80% и более [14]. Повышенный уровень гамма-излучения в сезоны частых обильных осадков мог сохраняться длительное время. Известно, что гамма-лучи характеризуются большой проникающей способностью и, взаимодействуя с веществом, способны вызвать ионизацию атомов вещества. Радиационное излучение инициирует каскадные процессы образования продуктов свободнорадикального окисления, которые влияют на функциональное состояние клеточных мембран - от регуляции проницаемости до избыточного окисления и разрушения молекул мембраны [10, 15]. Можно предположить, что с одной стороны природное гамма-излучение поддерживает определенный уровень окислительно-восстановительных реакций, необходимый для жизнедеятельности организма. С другой стороны, пороговое превышение интенсивности гамма-излучения может запускать адаптационно-приспособительные реакции или же провоцировать функциональные нарушения и деструктивные процессы, связанные с образованием высокотоксичных свободнорадикальных и перекисных соединений. Тот или иной конечный результат - «the Good, the Bad, and the Ugly» по образному выражению T.D.Luckey [8] - будет зависеть от количества энергии, которое ионизирующее излучение передаст тканям, экспозиции воздействия и резервных возможностей организма.

**Выводы.** В работе исследованы механизмы воздействия гамма-квантов вторичной космической компоненты на организм в условиях высокогорья (3340 м). Установлено, что влияние природного гамма-излучения на организм носит нелинейный характер: в организме человека поглощается до 25-45% внешнего потока гамма-квантов  $E_\gamma > 100$  кэВ

и одновременно до 2-10 % потока гамма-квантов  $E_\gamma < 100$  кэВ излучается из организма во внешнюю среду. Предполагается, что специфическое биологическое гамма-излучение преимущественно связано с процессом эмиссии низкоэнергичных гамма-квантов вследствие Комптон-эффекта.

## AN EFFECT OF THE SECONDARY COSMIC GAMMA-RADIATION ON HUMAN BODY

**N.M.Salikhov, G.D.Pak<sup>1</sup>, T.V.Samoylenko<sup>1</sup>**

«Institute of Ionosphere» National Center of Space Researches and Technologies

<sup>1</sup>»Institute of Human and Animal Physiology» Ministry of Education and Science

050020, Republic of Kazakhstan, Almaty, Каменское плато

**E-mail:** [n1@nursat.net](mailto:n1@nursat.net) gpak1@yandex.ru

### Conclusion

We studied the influence of the secondary cosmic radiation gamma-ray component on a human body in the high-altitude conditions (3340 m above sea level). It was found that such an influence has a non-linear character: up to 25-45% of the external gamma-radiation flux in the energy range  $E_\gamma > 100$  keV is absorbed inside the body while up to 2-10% of the  $E_\gamma < 100$  keV gamma-quanta is re-emitted back into outward. We suppose that the specific biological gamma-radiation occurs mainly due to Compton-effect.

**Key words:** secondary cosmic radiation gamma-ray component, gamma-radiation absorbtion, gamma-radiation emitting, high altitude.

### Литература

1. Богданов И.М., Сорокина М.А., Маслюк А.И. Проблема оценки эффектов воздействия «малых» доз ионизирующего излучения. //Бюллетень сибирской медицины. 2005, № 2, с. 145-151.
2. Булатова М.М., Платонов В.Н. Среднегорье, высокогорье и искусственная гипоксия в системе подготовки спортсменов. // Спортивная медицина, 2008, №1, с. 95-119.
3. Миррахимов М.М., Мейманалиев Т.С. Высокогорная кардиология. Фрунзе: Кыргызстан, 1984. 316 с.
4. Салихов Н.М., Пак Г.Д., Крякунова О.Н., Чубенко А.П. Волновая структура сердечного ритма и ее связь с вариациями интенсивности потока гамма-квантов вторичного космического происхождения. //Труды IV Всероссийского симпозиума «Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение». Ижевск, 2008, с.307-310.
5. Cuttler J. M., Pollycove M. Nuclear Energy and Health and the Benefits of Low-Dose Radiation Hormesis. //Dose-Response, 2009, 7:52-89.
6. Бурлакова Е.Б., Голощапов А.Н., Жижина Г.П., Конрадов А.А. Новые аспекты действия низкоинтенсивного облучения в малых дозах. //Радиационная биология. Радиоэкология. 1999, т.39, № 1, с.26-33.
7. Luckey, T. D. Radiation hormesis overview. //Rad Protect Manag. 1999, 16:22-34.
8. Luckey T.D. Radiation Hormesis: The Good, the Bad, and the Ugly. //Dose Response. 2006, 4(3): 169-190.
9. Rossi B. High-Energy Particles. Prentice-Hall, Inc., 1952.
10. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии. Изд. Мар. Гос. Ун-т.-Йошкар-Ола, 2007. 267 с.
11. Кузин А.М. Роль природного радиоактивного фона и вторичного биогенного излучения в явлении жизни. М.. Наука, 2002. 80 С.
12. Кузин Л. М. Природная атомная радиация и явление жизни. //Бюл. эксперим. биологии и медицины.1997, №4, с. 364-366.
13. Kryakunova O.N., Salikhov N.M., Pak G.D., Chubenko A.P., and Shepetov A.L. An increase of the soft gamma-radiation background by precipitations. //In Proceedings of the 32<sup>nd</sup> International Cosmic Ray Conference, China, Beijing, 2011, V.11, p.369-372.
14. Салихов Н.М., Крякунова О.Н., Щепетов А.Л., Пак Г.Д. Влияние атмосферных осадков на интенсивность потока гамма-излучения вторичного космического излучения. //Известия НАН РК, 2011, №4, с. 142-145.
15. Барабой В. А., Орел В.Э., Карнаух И.М. Перекисное окисление и радиация. Киев: Наукова Думка, 1991. 252 с.