

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

4 (302)

ШІЛДЕ – ТАМЫЗ 2015 ж.

ИЮЛЬ – АВГУСТ 2015 г.

JULY – AUGUST 2015

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

Мұтанов Г. М.

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

Г. М. Мутанов

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

G. M. Mutanov,
academician of NAS RK

Editorial board:

A.A. Ashimov, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

I.N. Vishnievski, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.
ISSN 1991-346X

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

Наземно-космические методы исследования геодинамических процессов в земной коре

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 302 (2015), 54 – 63

MUONS IN COSMIC RAYS AND PROCESSES IN EARTH'S CRUST

Zh. Sh. Zhantayev¹, N. G. Breusov¹, G. Ya. Khachikyan², K. M. Mukashev³, T. Kh. Sadykov⁴

¹JSC "National Centre for Space Research and Technology", Almaty, Kazakhstan,

²Institute of Ionosphere, " JSC «NCSRT», Almaty, Kazakhstan,

³National Pedagogical University after Abaya, MES, Almaty, Kazakhstan,

⁴Physics and Technical Institute of "NNTH" Parasat " MES, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: galina.khachikyan@gmail.com

Keywords: cosmic ray muons, solar activity, earthquakes.

Abstract. The results of the model calculations and experimental observations of muon component of cosmic rays in the atmosphere and under a layer of rock as well, collected by the international community of scientists, are considered. It is revealed that cosmic ray muons, depending on their energy, can penetrate to a depth of up to 100 km. water equivalent. The results are presented which show that the strongest earthquakes occurred in the Japan and in the North Tien Shan as well, have a tendency to be confined to the periods of minimum in solar activity, when the increased flux of galactic cosmic rays is expected. It is shown that the crust in areas where the seismicity found an association with variations in solar activity and/or the intensity of the cosmic rays flux, have a higher electrical conductivity as compared with neighboring areas. It is concluded that the results support the idea of the implementation on the basis of a complex «ATHLET» the new cosmophysical method of short-term prediction of strong earthquakes, named as the muon beam.

УДК 551.24; 550.34

МЮОНЫ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ И ПРОЦЕССЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Ж. Ш. Жантаев¹, Н. Г. Бреусов¹, Г. Я. Хачикян², К. М. Мукашев³, Т.Х. Садыков³

¹АО "Национальный Центр космических исследований и технологий» АКК МИР РК, Алматы, Казахстан,

²ДТОО «Институт ионосферы», АО «НЦКИТ», Алматы, Казахстан,

³Национальный Педагогический Университет им. Абая МОН РК. Алматы, Казахстан,

⁴Физико-Технический Институт АО «ННТХ «Парасат» МОН РК, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: космические лучи, мюоны, солнечная активность, землетрясения.

Аннотация. Приведены результаты модельных расчетов и экспериментальных наблюдений мюонной компоненты космических лучей в атмосфере и под толщей горной породы, полученные к настоящему времени международным сообществом ученых. Показано, что мюоны космических лучей, в зависимости от их энергии, могут проникать на глубины до 100 км водного эквивалента. Проанализированы данные, показывающие, что сильнейшие землетрясения в районе Японии, а также на Северном Тянь-Шане, имели

тенденцию быть приуроченными к периодам минимума солнечной активности, когда ожидается максимальным поток галактических космических лучей. Приведены результаты, демонстрирующие, что земная кора тех районов, где обнаружена связь тектонических процессов с вариациями солнечной активности и/или интенсивностью потока космических лучей, обладает более высокой электрической проводимостью по сравнению с соседними районами. Сделан вывод, что результаты поддерживают идею реализации на базе комплекса «ATHLET» нового космофизического метода краткосрочного прогноза сильных землетрясений «мюонный луч».

Введение. В последние годы обсуждается вопрос о реализации вблизи г. Алматы (на базе высокогорного комплекса «ATHLET») космофизического метода краткосрочного прогноза сильных землетрясений [1-5]. В этом методе требуется проводить одновременный мониторинг потока мюонов в космических лучах и акустических, а возможно и сейсмических сигналов, которые предположительно должны возникать в напряженной сейсмоактивной среде при воздействии на нее проникающих мюонов. К настоящему времени в [6] разработано теоретическое обоснование космофизического метода прогноза землетрясений (образно названного «мюонный луч»), теоретические расчеты подкреплены результатами компьютерного моделирования [1] и первой серией пробных измерений [2]. Однако, реализация нового метода потребует определенных финансовых затрат, поэтому, для большей убедительности в их целесообразности, имеет смысл провести дополнительные исследования, результаты которых, пусть даже косвенно, но поддержали бы данную идею. При обсуждении метода «мюонный луч» одними из первых возникают вопросы о глубине проникновения мюонов в земную кору и о наличии экспериментально обнаруженных эффектов соответствия между вариациями космических лучей и характеристик геодинамической активности. Поэтому в данной статье приведены результаты международных исследований концентрации подземных мюонов, и результаты о соответствии между вариациями солнечной активности, модулирующей поток космических лучей, и сейсмической активности Земли.

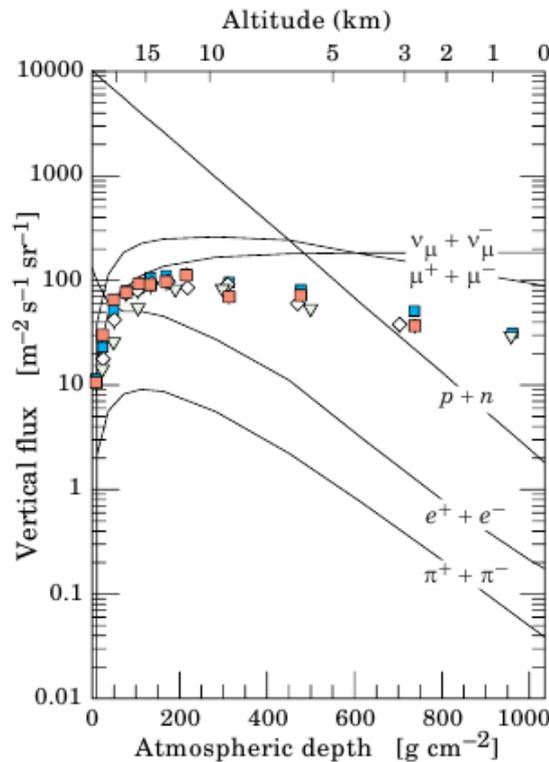
Результаты исследования. Космические лучи – это поток частиц высокой энергии (ядер различных атомов от водорода до урана, но преимущественно протонов), приходящих на Землю из мирового пространства (первичное излучение). Большинство частиц первичного космического излучения имеет энергию больше 10^9 эв (1 Гэв), а энергия отдельных частиц достигает 10^{20} — 10^{21} эв и выше [7]. Первичные космические лучи в результате взаимодействия с ядрами атмосферы порождают вторичные частицы (вторичные космические лучи) в реакциях:

$$N + N = N + N + \sum(\pi^0, \pi^+, \pi^-).$$

Затем нейтральные и заряженные пионы (π^0, π^+, π^-) распадаются на мюоны (μ), нейтрино (ν) и фотоны (γ) по схеме:

$$\pi^\pm \rightarrow \mu + \nu_\mu, \pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

Основная масса вторичных космических лучей образуется в максимуме широких атмосферных ливней (ШАЛ) на высоте вокруг ~ 15 км. Доминирующей здесь является электронно-фотонная компонента, и только $\sim 10\%$ от числа электронов составляют мюоны, количество которых зависит от энергии первичной частицы. В [1] проводилось компьютерное моделирование для мюонов с энергией $E \geq 3$ ТэВ, рождаемых в ШАЛ при энергиях первичных частиц E_0 от 10^{16} эВ до 10^{19} эВ. Получено, что при $E_0 = 10^{16}$ эВ, в центре ШАЛ может содержаться примерно 4 мюона с энергией $E \geq 3$ ТэВ, а при $E_0 = 10^{19}$ эВ, - более 1500 мюонов с энергией $E \geq 3$ ТэВ. Проходя через атмосферу и приближаясь к земной поверхности, вторичные космические лучи теряют свою энергию в основном в процессе ионизации, тормозного излучения, образования пар, фотоядерных взаимодействий. Поскольку масса мюона почти в 200 раз больше массы электрона, эффективность взаимодействия мюонов с атмосферными газами в 40000 раз меньше, чем у электронов и на уровне земной поверхности поток мюонов становится доминирующим. Этот эффект демонстрирует рисунок 1 из работы [8], где сплошными кривыми показаны рассчитанные концентрации пионов, электронов, протонов, нейтронов, мюонов и нейтрино, а цветными символами показаны экспериментальные измерения концентрации отрицательных мюонов с энергиями $E_\mu > 10^9$ эВ, полученные разными авторами в разных экспериментах, реализованных, как на уровне земной поверхности, так и на высотах атмосферы с использованием баллонов и самолетов [8].



Кривые – модельные расчеты, символы – измеренные концентрации отрицательных мюонов.

Рисунок 1 – Вертикальные потоки различных частиц космических лучей с энергией $E > 1$ GeV на разных высотах [8]

Как показывает рисунок 1, только мюоны и нейтрино достигают земной поверхности и могут проникнуть в земную кору. Проходя через горную породу, мюоны будут терять энергию в ионизационных и радиоактивных процессах (тормозное излучение, прямое рождение пар e^+e^- , и фотоядерные взаимодействия). Полная потеря энергии мюона может быть выражена в виде функции от массы пройденного вещества в виде [8]:

$$-dE_\mu/dX = a + bE_\mu, \tag{1}$$

где a – ионизационные потери, b - потери за счет трех перечисленных выше радиоактивных процессов. Оба параметра в (1) изменяются с изменением энергии. Отношение a/b , равное (≈ 500 GeV в стандартной горной породе) определяет критическую энергию, ниже которой ионизационные потери становятся преобладающими над радиоактивными потерями. В таблице 1 приведены данные о среднем пути пробега мюона в стандартной горной породе [9] и значения параметров a , b в зависимости от энергии мюона.

Значения параметров в таблице 1 несколько изменяются в зависимости от химического состава горной породы и должны оцениваться для конкретно исследуемого района. Интенсивность подземных мюонов зависит от энергии мюона в атмосфере и его потерь в горной породе. Если

Таблица 1 – Средний путь пробега R (в километрах водного эквивалента или в 10^5 г см^{-2}) мюона с энергией E_μ , и значения коэффициентов потерь в ионизационных и радиоактивных процессах (a , b , соответственно) по данным [9]

E_μ , ГэВ	R , км в.э.	a , МэВ $\text{г}^{-1} \text{см}^2$	b , $10^{-6} \text{г}^{-1} \text{см}^2$
10	0,05	2,17	1,90
100	0,41	2,44	3,04
1000	2,45	2,68	3,92
10000	6,09	2,93	4,35

пренебречь зависимостью коэффициентов a , b от энергии мюона, то проинтегрировав уравнение (1) можно получить соотношение связи между энергией мюона в атмосфере ($E_{\mu,0}$) и его энергией (E_{μ}) после пробега слоя горной породы толщиной X в виде [8]:

$$E_{\mu,0} = (E_{\mu} + a/b) \exp(bX) - a/b \quad (2)$$

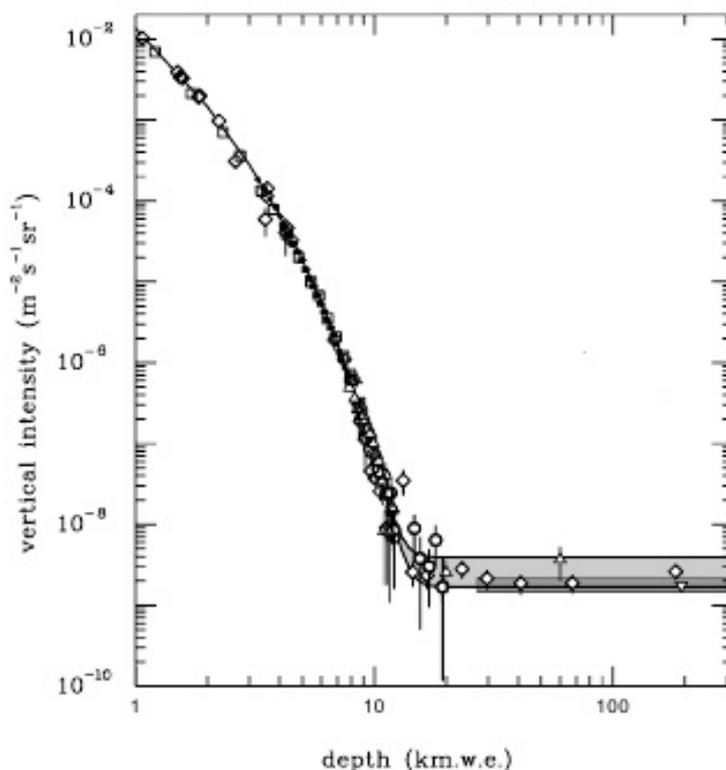
В общем, спектр мюонов на глубине X можно представить в виде [8]:

$$dN_{\mu}(X)/dE_{\mu} = (dN_{\mu}/dE_{\mu,0}) \times (dE_{\mu,0}/dE_{\mu}) = dN_{\mu}/dE_{\mu,0} \exp(bX) \quad (3)$$

где $E_{\mu,0}$ есть решение уравнения (2) для случая, когда можно пренебречь флуктуациями.

На рисунке 2 показаны результаты расчета и измерения мюонов до глубин более 100 км водного эквивалента из работы [8]. Линиями на рисунке 2 показаны результаты модельных расчетов, а символами результаты измерений в разных экспериментах: черные ромбы – компиляция данных в экспериментах Crouch [10] и Vaksan [11], светлые круги – данные эксперимента LVD [12], темные круги – компиляция данных в экспериментах MACRO [13] и Frejus [14], треугольники – данные эксперимента SNO [15]. Серая область на больших глубинах представляет мюоны с энергией более 2 ГэВ, которые индуцируются при взаимодействии с нейтрино. Верхняя линия – для горизонтальных потоков индуцированных мюонов, нижняя – для мюонов, распространяющихся вертикально вверх. Более темно закрашенная область показывает мюонный поток, измеренный установкой SuperKamiokande, расположенной в горных районах Японии на глубине 1 км под землей и с детектором в виде резервуара из нержавеющей стали размером 40м x 40м) который заполнен 50 000 тонн чистой воды, что есть мишень для нейтрино.

Результаты модельных расчетов, а также непосредственная регистрация мюонов на глубинах до нескольких км в.э. (рисунок 2), поднимают вопрос о возможности их влияния на процессы в земной коре, и к настоящему времени уже получены свидетельства такого влияния как на вулканическую, так и на сейсмическую деятельность планеты. Например, в работе [16] проанализированы



Ромбы, светлые и темные круги, треугольники – данные в экспериментах: Crouch и Vaksan, LVD, MACRO и Frejus, SNO, соответственно.

Рисунок 2 – Интенсивность потока мюонов в зависимости от глубины в единицах водного эквивалента (1 км в.э. = 10^5 г см⁻² стандартной горной породы) из работы [8]

извержения четырех вулканов на территории Японии (Fuji, Usu, Myojinsho, Satsuma-Iwo-jima) за период 306 лет (1700–2005 гг.). Обнаружено, что 9 из 11 извержений произошли на фазе минимума солнечной активности, когда интенсивность потока космических лучей, в том числе мюонов, ожидается быть максимальной [7]. Дополнительно к анализу вулканов, в работе [16] обращено внимание, что из 12 сильнейших землетрясений (с магнитудой более 7.5), произошедших в регионе Японии, 9 событий были приурочены к периодам низкой солнечной активности. Данные для этих землетрясений приведены в таблице 2, а время их возникновения на фоне вариаций солнечной активности показаны на рисунке 3 (красные звездочки).

Таблица 2 – Землетрясения с магнитудой более 7.5, произошедшие в регионе Японии с 1700 по 2010 гг. по данным [16] (год, число солнечных пятен, магнитуда, регион)

№	Год	Число солнечных пятен	Магнитуда	Регион, название
1	1703	23	7.9-8.2	Kanto (Genroku Earthquake)
2	1707	20	8,4	Tokai and Nankai (Houei Earthquake)
3	1769	106.1	7,75	East Kyushu
4	1883	27,5	7,5	Yamagata, Akita, and Niigata
5	1847	98.5	7.5	Nagano and Niigata (Zenkoji Earthquake)
6	1854	20.6	8.4	Tokai and Nankai (Ansei Tokai Earthquake)
7	1854	20.6	8.4	Nankai (Ansei Earthquake)
8	1891	35.6	8,0	Aichi and Gifu (Nobi Earthquake)
9	1923	5,8	7,9	Kanto (Great Kanto Earthquake)
10	1944	15	7,9	Tokai and Nankai (Showa Tonankai Earthquake)
11	1946	92,6	8,0	Nankai (Showa Nankai Earthquake)
12	1964	10,2	7,5	Niigata

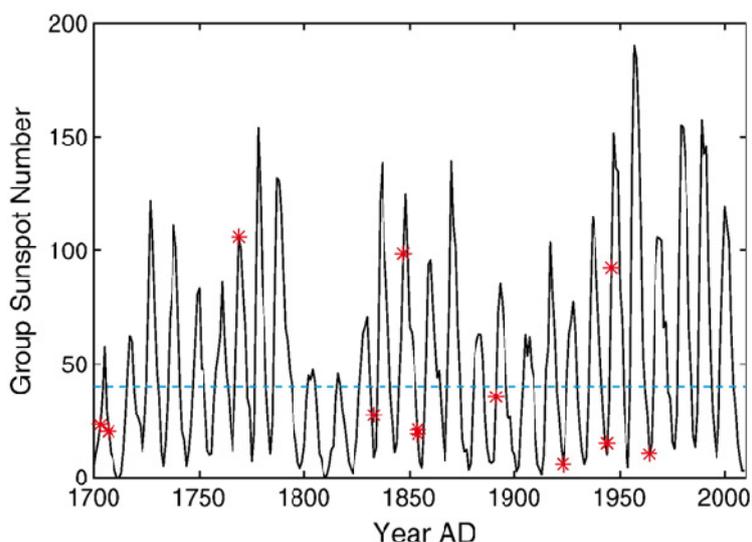


Рисунок 3 – Вариации солнечной активности (черная кривая) и даты (красные звездочки) возникновения сильных землетрясений ($M > 7.5$) в регионе Японии (таблица 2) из работы [16]

Из рисунка 3 видно, что основное количество сильных землетрясений в регионе Японии произошло в годы с числом солнечных пятен менее 40 (синяя линия). К этому результату можно добавить, что аналогичная ситуация - возникновение сильнейших землетрясений в годы низкой солнечной активности, характерна и для сейсмоопасных районов Северного Тянь-Шаня. А именно, в недалеком прошлом здесь произошли землетрясения: Верненское 1887 г., $M=7.3$, Чиликское,

1889г., $M=8.3$ и Кеминское, 1911г., $M=8.2$, каждое из которых наносило ущерб г. Алматы. Ранее, в 1807г на этой территории также произошло сильное землетрясение, по поводу которого отмечено (http://portal.kazntu.kz/files/publicate/2013-11-13-11621_0.pdf): «Мы практически ничего не знаем о землетрясении, разрушившем г. Алматы в 1807 г., кроме упоминания в каталоге И. В. Мушкетова и А. П. Орлова, составленном в 1893г., где сказано: "В 1807 году в Алматах произошла страшная катастрофа". На рисунке 4 показаны даты возникновения этих землетрясений (красные звездочки) также на фоне вариаций солнечной активности (черная кривая). Период времени 1755-2014 гг. включает 23.5 одиннадцатилетних солнечных циклов (цифры на рисунке).

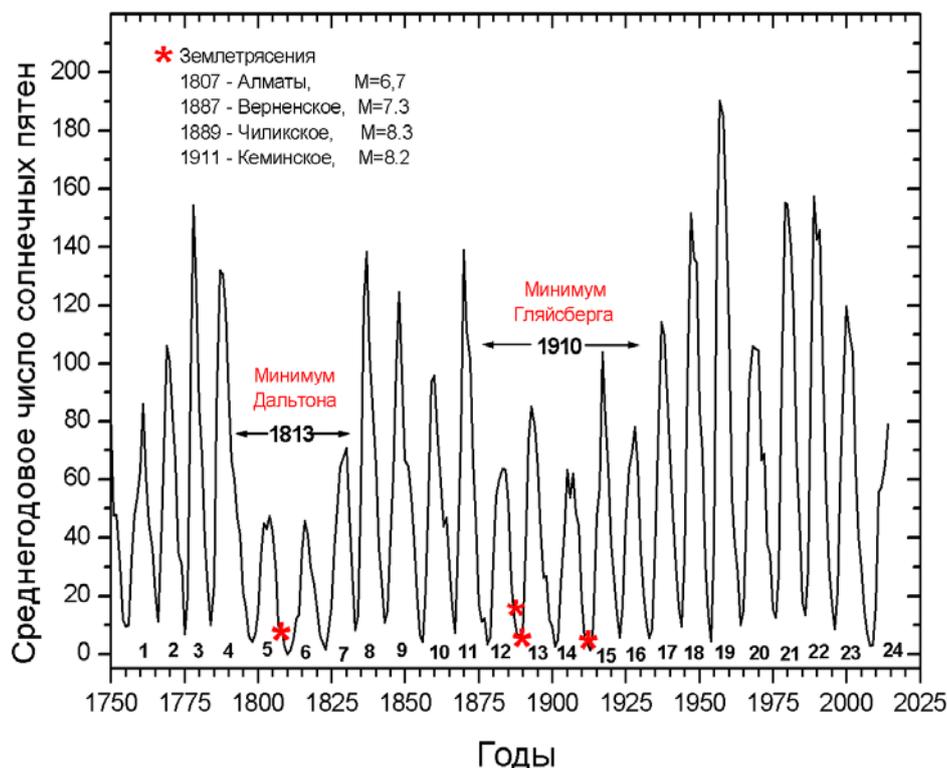


Рисунок 4 – Среднегодовые числа солнечных пятен в 1750-2014 гг (1-24 циклы) и даты сильнейших исторических землетрясений на Северном Тянь-Шане [17]

Рисунки 3 и 4 демонстрируют, что амплитуда 11 летних солнечных циклов не постоянная, что обусловлено более долгопериодными вариациями солнечной активности. За инструментальный период солнечных наблюдений зафиксировано два долговременных минимума в солнечной активности [18, 19]: минимум Дальтона, середина которого пришлась на ~1813г (5-7 солнечных циклы), и Гляйсберга, середина которого пришлась примерно на ~1910 г., а самыми низкоамплитудными были 12-ый и 14-ый солнечные циклы. Из рисунка 4 следует, что четыре землетрясения, каждое из которых наносило ущерб г. Алматы, произошли в периоды долговременных солнечных минимумов Дальтона и Гляйсберга, причем в те годы, которые завершали низкоамплитудные 11-ти летние солнечные циклы (5, 12, и 14-ый).

Обсуждение результатов. В [16] отмечено, что приуроченность извержений японских вулканов к минимумам солнечной активности, когда максимален поток космических лучей [7], имела место не для всех вулканов, а только для тех, магма которых обогащена кремнеземом (SiO_2). Для другого японского вулкана - Izu-Ohshima, магма которого бедна кремнеземом, такая закономерность отсутствует. Это говорит о том, что земные породы могут избирательно реагировать на воздействие солнечной активности и/или потока космических лучей. Аналогичная ситуация характерна и для территории Северного Тянь-Шаня. Так, результаты почти десятилетнего изучения связи сейсмостектонической деформации земной коры на Северном Тянь-Шане с вариациями солнечной активности, обзор которых приведен в недавней работе [20], показали, что только на локальной территории, расположенной в высокогорной части хребтов Заилийский и

Кунгей Алатау, между Алматинской впадиной на севере и Иссыкульской – на юге, Аксайским и Тургеньским разломами – на западе и востоке, режим сейсмотектонической деформации по данным о механизмах очагов землетрясений, реагирует на вариации солнечной активности. В этом локальном районе земная кора находится в состоянии одноосного сжатия в годы низкой солнечной активности, но одноосного растяжения в годы высокой солнечной активности [20 и ссылки внутри]. Анализ геологического строения этой территории показал [21], что здесь земная кора подстилается мощным слоем активной мантии (горячим мантийным потоком), а магнитотеллурическое зондирование [22] обнаружило низкоомные (высокопроводящие) объемы земных пород территориально совпадающие с горячим мантийным потоком. Как следует из работ [16, 23-25], в районе расположения четырех японских вулканов, магма которых обогащена кремнеземом, электрическая проводимость земной коры и верхней мантии также повышена. В работе [16] не предложен физический механизм, способный объяснить приуроченность сильных землетрясений Японии к периодам солнечных минимумов, но предположено, что эта корреляция может быть связана неким образом с циркуляцией воды из субдуцирующего слэба под Японской островной дугой [23-25]. При этом, в [23] показано, что циркуляция воды из субдуцирующего слэба приводит к увеличению электрической проводимости земной коры и верхней мантии в данном регионе. То есть, как в Японии, так и на Северном Тянь-Шане, в тех регионах, которые реагируют на вариации солнечной активности и/или потока космических лучей, электрическая проводимость земных пород повышена.

По поводу связи сейсмичности с космическими лучами можно добавить, что несколько лет назад академик РАН Голицин Г.С. обратил внимание на соответствие между энергией космических лучей и частотой, с которой они приходят на Землю, и между энергией землетрясений и частотой их возникновения [26]. Он попытался найти то общее, что типично для столь разных процессов и показал, что если в систему вводится энергия, то начинают действовать определенные закономерности, типичные как для звездных систем, так и для Земли. В результате были получены достаточно схожие зависимости между энергией и частотой прихода к Земле космических частиц, а также между энергией и частотой возникновения землетрясений. В целом, в [26] продемонстрирована необходимость и полезность общего взгляда на окружающий нас мир, однако, конкретный вопрос о вкладе энергии космических лучей в активизацию сейсмических процессов в [26] не затрагивался. Этому вопросу посвящена работа [6], выполненная почти 30 лет назад, где показано, что при взаимодействии мюонов космических лучей с земными породами, в последних могут возникать микротрещины, раскрытие которых должно сопровождаться генерацией акустических шумов, а если поток мюонов попадет в сейсмически активную среду, напряжение в которой близко к порогу разрушения горной породы, то проникающие мюоны могут привести к генерации не только акустической, но и сейсмической волны, то есть, к землетрясению. Как отметили авторы работы [6], подтверждение их теоретическим оценкам следует искать в эксперименте – одновременном мониторинге потока мюонов и акустических, а возможно и сейсмических сигналов, то есть в эксперименте «мюонный луч».

Выводы:

- Мюоны космических лучей, в зависимости от их энергии, могут проникать на глубины до 100 км. водного эквивалента (рисунки 1, 2).
- Сильнейшие землетрясения в Японии, а также на Северном Тянь-Шане, имели тенденцию быть приуроченными к периодам минимума солнечной активности, когда максимален поток галактических космических лучей.
- Земная кора тех районов, где обнаружена связь тектонических процессов с вариациями солнечной активности и/или интенсивностью потока космических лучей, обладает более высокой электрической проводимостью по сравнению с соседними районами.
- Полученные результаты поддерживают идею реализации на базе комплекса «ATHLET» нового космофизического метода краткосрочного прогноза сильных землетрясений «мюонный луч».

Работа выполнена по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» в рамках темы «Разработка методов прогноза сейсмической активности на основе мониторинга акустических сигналов, генерируемых мюонами космических лучей на примере алматинского прогностического полигона» (Грант 0032/ГФЗ), Регистрационный номер (РН) 0113РК00288).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гусев Г.А., Жуков В.В., Мерзон Г.И., Митько Г.Г., Степанов А.С., Рябов В.А., Чечин В.А., Чубенко А.П., Щепетов А.Л. Космические лучи как новый инструмент сейсмологических исследований, Краткие сообщения по физике ФИАН, 2011, №12, С. 43-51.
- [2] Вильданова Л. И., Гусев Г. А., Жуков В. В., Мерзон Г. И., Митько Г. Г., Наумов А. С., Рябов В. А., Степанов А. В., Чечин В. А., Чубенко А. П., Щепетов А. Л. Первые результаты наблюдения акустических сигналов, генерируемых мюонами космических лучей в сейсмически-напряженной среде, Краткие сообщения по физике ФИАН, 2013, №12, С. 31-39.
- [3] Sadykov T.Kh., Zhukov V.V., Breusov N.G., Mukashev K.M., Khachikyan G.Ya., Zastrozhnova N.N. Seismic stations for short-term prediction of earthquakes by means of the cosmic rays, Материалы VIII международной научно-практической конференции «Новости научной мысли – 2013», 28-30 October 2013, Чехия, Прага: Publishing House «Education and Science» (Чехия, Прага), С. 78-81.
- [4] Жантаев Ж.Ш., Бреусов Н.Г., Курманов Б.К., Хачикян Г.Я., Садыков Т.Х., Мукашев К.М., Жуков В.В. О космогеофизическом методе прогноза сильных землетрясений, Известия НАН РК, Серия физико-математическая, 2014, № 4 (296), С.140-149.
- [5] Жантаев Ж.Ш., Бреусов Н.Г., Курманов Б.К., Хачикян Г.Я., Мукашев К.М., Садыков Т.Х., Жуков В.В. Вероятность инициирования сейсмической волны проникающими компонентами космических лучей, Мировой научный потенциал: матер. 10-ой междунар. науч.-практ. конф., Болгария, София, 2014, Т.6 (Физика), С. 33-38.
- [6] Царев В.А., Чечин В.А. Атмосферные мюоны и высокочастотные сейсмические шумы, Препринт ФИАН, 1988, № 179, 21с.
- [7] Дорман Л. И. Вариации космических лучей и исследование космоса, М.: Изд. АН СССР, 1963, 1028с.
- [8] Beringer J., et al. (Particle Data Group), PR D86, 010001 (2012) and 2013 partial update for the 2014 edition, 2013, December 18, URL: <http://pdg.lbl.gov>.
- [9] Groom D.E., N.V. Mokhov, and S.I. Striganov. Muon stopping-power and range tables, Atomic Data and Nuclear Data Tables, 2001, 78, 183 p.
- [10] Adamson P. et al. Measurement of the atmospheric muon charge ratio at TeV energies with MINOS, Phys. Rev., 2007, Vol. D76, P. 052003, hep-ex/0705.3815.
- [11] Crouch M. An Improved World Survey Expression for Cosmic Ray Vertical Intensity VS. Depth in Standard Rock, Proc. 20th Int. Cosmic Ray Conf., Moscow, 1987, V. 6, P. 165, <http://adsabs.harvard.edu/abs/1987ICRC....6..165C>
- [12] Andreev Yu.M., Gurentzov V.I., and Kogai I.M.. Muon Intensity from the Baksan Underground Scintillation Telescope, Proc. 20th Int. Cosmic Ray Conf. Moscow, 6, P. 200, [<http://adsabs.harvard.edu/abs/1987ICRC....6..200A>].
- [13] Aglietta M. et al. (LVD Collab. Neutrino-induced and atmospheric single-muon fluxes measured over five decades of intensity by LVD at Gran Sasso Laboratory, Astropart. Phys., 1995, 3, P. 311-320.
- [14] Ambrosio M. et al. (MACRO Collab.), Vertical muon intensity measured with macro at the Ggran Sasso laboratory, Phys. Rev., 1995, D52, P. 3793-3802.
- [15] Berger Ch. et al. (Frejus Collab.), Experimental study of muon bundles observed in the Fréjus detector, Phys. Rev., 1989, D40, P. 2163
- [16] Ebisuzaki T., Miyahara H., Katoaka R., Sato T., Ishimine Y. Explosive volcanic eruptions triggered by cosmic rays: Volcano as a bubble chamber, Gondwana Research, 2011, V.19, P. 1054 – 1061.
- [17] Хачикян Г.Я. Солнечно - литосферные связи: глобальный и региональный эффекты. Шестой международный симпозиум «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» г. Бишкек, Киргизская республика (23-29 июня 2014), Абстракт, - С.
- [18] Feynman J., Ruzmaikin A. The Sun's Strange Behavior: Maunder Minimum or Gleissberg Cycle?, Solar Phys., 2011 V, 272, P. 351–363, DOI 10.1007/s11207-011-9828-0.
- [19] Feynman, J., Ruzmaikin A. The Centennial Gleissberg Cycle and its association with extended minima, J. Geophys. Res. Space Physics., 2014, V. 119, P. 6027–6041, doi:10.1002/2013JA019478
- [20] Абаканов Т.Д., Садыкова А.Б., Хачикян Г.Я. Современное сеймотектоническое состояние земной коры на Северном Тянь-Шане, Доклады Национальной Академии Наук Республики Казахстан, ISSN 2224-5227, 2015, № 2, С. 98-110.
- [21] Тимуш А.В., Садыкова А.Б., Степаненко Н.П., Хачикян Г.Я. Стрoение литосферы как фактор вариаций сеймотектонических деформаций в связи с солнечной активностью на Северном Тянь-Шане, Известия НАН РК, серия геологии и технических наук, 2013, № 1, С. 55-66.
- [22] Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г. и др. На пути к 3D структуре земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня: результаты глубинной магнитотеллурики, Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов (2-й международный симпозиум; тезисы), Бишкек, 2002. С.25-27.
- [23] Ichiki M., Baba K., Toh H., Fuji-ta K., 2009. An overview of electrical conductivity structures of the crust and upper mantle beneath the northwestern Pacific, the Japanese islands, and continental East Asia Gondwana Research 16, P. 545–562
- [24] Hasegawa A., Nakajima J., Uchida N., Okada T., Zhao D., Matsuzawa T., Umino N., 2009, Plate subduction, and generation of earthquakes and magmas in Japan as inferred from seismic observations: an overview, Gondwana Research 16, P. 370–400.
- [25] Maruyama S., Hasegawa A., Santosh M., Kogiso T., Omori S., Nakamura H., Kawai H., Zhao D., 2009, The dynamics of big mantle wedge, magma factory, and metamorphic- metasomatic factory in subduction zones, Gondwana Research 16, P. 414–430.
- [26] Голицын Г.С. Статистика и динамика природных процессов и явлений: Методы, инструментарий, результаты. Серия: Синергетика: от прошлого к будущему, 2013, № 68, ISBN 978-5-396-00502-0, 400 с.

REFERENCES

- [1] Gusev G.A., Zhukov V., G.I. Merzon, Mitko G.G., A.S. Stepanov, V.A. Ryabov, V.A. Chechin, Chubenko A.P., Shchepetov A.L. Cosmic rays as a new tool of seismological research in physics Brief FIAN, 2011, №12, P. 43-51. (in Russ.).
- [2] Vildanova L.I., Gusev G.A., Zhukov V.V., Merzon G.I., Mitko G.G., Naumov A.S., Ryabov V.A., Stepanov A.V., Chechin V.A., Chubenko A.P., Shchepetov A.L. The first results of surveillance of acoustic signals generated by cosmic-ray muons in a seismically-stressful environment Brief Communic. in Physics FIAN, 2013, №12, P.31-39. (in Russ.).
- [3] Sadykov T. Kh., Zhukov V.V., Breusov N.G., Mukashev K.M., Khachikyan G.Ya., Zastrozhnova N.N. Seismic stations for short-term prediction of earthquakes by means of the cosmic rays, Proceedings of the VIII international scientific-practical conference "The News of scientific thought - 2013", 28-30 October 2013, Czech Republic, Prague: Publishing House «Education and Science», C. 78-81.
- [4] Zhantayev Zh.Sh., Breusov N.G., Kurmanov B.K., Khachikyan G.Ya., Sadykov T.Kh., Mukhashev K.M., Zhukov V.V. About cosmogeophysical method of prediction of strong earthquakes, Izvestiya NAN RK Series Physics and Mathematics, 2014, № 4 (296), P.140-149. (in Russ.).
- [5] Zhantayev Zh.Sh., Breusov N.G., Kurmanov B.K., Khachikyan G.Ya., Mukhashev K.M., Sadykov T.Kh., Zhukov V.V. The probability of initiating a seismic wave of the penetrating component of cosmic rays, the world's scientific potential: mater. 10th Intern. scientific and practical. Conf., Bulgaria, Sofia, 2014, V.6 (Physics), P. 33-38. (in Russ.).
- [6] Tsarev V.A., V.A. Chechin. Atmospheric muons and high-frequency seismic noise, Preprint FIAN, 1988, № 179, 21p. (in Russ.).
- [7] Dorman L.I. Cosmic ray variations and space exploration, M.: USSR Academy of Sciences, 1963, 1028s. [8] Beringer J., et al. (Particle Data Group), PR D86, 010001 (2012) and 2013 partial update for the 2014 edition, 2013, December 18, URL: [http://pdg.lbl.gov]. (in Russ.).
- [9] Groom D.E., N.V. Mokhov, and S.I. Striganov. Muon stopping-power and range tables, Atomic Data and Nuclear Data Tables, 2001, V.78, 183 p.
- [10] Adamson P. et al. Measurement of the atmospheric muon charge ratio at TeV energies with MINOS, Phys. Rev., 2007, Vol. D76, P. 052003, hep-ex/0705.3815.
- [11] Crouch M. An Improved World Survey Expression for Cosmic Ray Vertical Intensity VS. Depth in Standard Rock, Proc. 20th Int. Cosmic Ray Conf., Moscow, 1987, V. 6, P. 165, [http://adsabs.harvard.edu/abs/1987ICRC...6..165C].
- [12] Andreev Yu. M., Gurentzov V.I., and Kogai I.M.. Muon Intensity from the Baksan Underground Scintillation Telescope, Proc. 20th Int. Cosmic Ray Conf. Moscow, 6, P. 200, [http://adsabs.harvard.edu/abs/1987ICRC...6..200A].
- [13] Aglietta M. et al. (LVD Collab. Neutrino-induced and atmospheric single-muon fluxes measured over five decades of intensity by LVD at Gran Sasso Laboratory, Astropart. Phys., 1995, 3, P. 311-320.
- [14] Ambrosio M. et al. (MACRO Collab.), Vertical muon intensity measured with macro at the Ggran Sasso laboratory, Phys. Rev., 1995, D52, P. 3793-3802.
- [15] Berger Ch. et al. (Frejus Collab.), Experimental study of muon bundles observed in the Fréjus detector, Phys. Rev., 1989, D40, P. 2163.
- [16] Ebisuzaki T., Miyahara H., Katoaka R., Sato T., Ishimine Y. Explosive volcanic eruptions triggered by cosmic rays: Volcano as a bubble chamber, Gondwana Research, 2011, V.19, P. 1054 – 1061.
- [17] Khachikyan G.Ya. Solar - lithospheric connection: global and regional effects. Sixth International Symposium "Problems of geodynamics and geocology inland orogens", Bishkek, Kyrgyz Republic (23-29 June 2014), Abstract – P.394. (in Russ.).
- [18] Feynman J., Ruzmaikin A. The Sun's Strange Behavior: Maunder Minimum or Gleissberg Cycle?, Solar Phys., 2011, V 272, P. 351–363, DOI 10.1007/s11207-011-9828-0.
- [19] Feynman, J., Ruzmaikin A. The Centennial Gleissberg Cycle and its association with extended minima, J. Geophys. Res. Space Physics., 2014, V.119, P. 6027–6041, doi:10.1002/2013JA019478.
- [20] Abakanov TD, Sadykov AB, GY Khachikian Modern seismotectonic state of the crust in the North Tien Shan, Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, ISSN 2224-5227, 2015, № 2, P. 98-110. (in Russ.).
- [21] Timush A.V., Sadykov A.B., Stepanenko N.P., G.Ya. Khachikyan. The structure of the lithosphere as a factor in the variations of seismotectonic deformations due to solar activity in the North Tien Shan, Izvestia NAN RK, series geology and engineering sciences, 2013, № 1, P. 55-66. (in Russ.).
- [22] Rybin A.K., Batalev V.Y., Shchelochkov G.G. et al. On the way to the 3D structure of the crust and upper mantle of the Tien Shan: the results of deep magnetotelluric, Geodynamics and geocological problems of mountainous regions (2-nd International Symposium, abstracts), Bishkek, 2002, P. 25-27. (in Russ.).
- [23] Ichiki M., Baba K., Toh H., Fujita K., 2009. An overview of electrical conductivity structures of the crust and upper mantle beneath the northwestern Pacific, the Japanese islands, and continental East Asia Gondwana Research 16, P. 545–562.
- [24] Hasegawa A., Nakajima J., Uchida N., Okada T., Zhao D., Matsuzawa T., Umino N., 2009, Plate subduction, and generation of earthquakes and magmas in Japan as inferred from seismic observations: an overview, Gondwana Research 16, P. 370–400.
- [25] Maruyama S., Hasegawa A., Santosh M., Kogiso T., Omori S., Nakamura H., Kawai H., Zhao D., 2009, The dynamics of big mantle wedge, magma factory, and metamorphic- metasomatic factory in subduction zones, Gondwana Research 16, P.414–430.
- [26] Golitsyn G.S. Statistics and dynamics of natural processes and phenomena: Methods, tools, results. Series: Synergetics: from past to future, 2013 Number 68, ISBN 978-5-396-00502-0, 400. (in Russ.).

**ҒАРЫШТЫҚ СӘУЛЕЛЕРДЕГІ МЮОНДАР
ЖӘНЕ ЖЕР ҚЫРТЫСЫНДАҒЫ ПРОЦЕСТЕР****Ж. Ш. Жантаев¹, Н. Г. Бреусов¹, Г. Я. Хачикян², Қ. М. Мұқашев³, Т.Х. Садықов³**¹ «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы» АҚ АҒК ИДМ ҚР, Алматы, Қазақстан,² ДТОО «Институт ионосферы» ЕЖШС, «ҰҒЗТО» АҚ, Алматы, Қазақстан,³ Абай атындағы Ұлттық Педагогикалық Университеті БҒМ ҚР, Алматы, Қазақстан,⁴ Физикалық-Техникалық Институты АҚ ««Парасат» ҰҒТХ» БҒМ ҚР Алматы, Қазақстан,**Тірек сөздер:** ғарыштық сәулелер, мюондар, күн белсенділігі, жер сілкінісі.

Аннотация. Атмосферада және таулы жартасты қабатының астындағы ғарыштық сәулелерінің мюонды компоненттерінің қазіргі уақыттағы халықаралық қоғамдастықтың ғалымдарының алған модельдік есептеулері мен эксперименттік бақылаулар нәтижелері келтірілді. Ғарыштық сәулелерінің мюондары, олардың энергиясына байланысты 100 км су баламасына дейінгі тереңдікке енуі мүмкін екендігі көрсетілген. Жапония және Солтүстік Тянь-Шань аймақтарындағы күшті жер сілкіністерінің талданылған деректері күн белсенділігінің минимумына, яғни галактикалық ғарыштық сәулелердің күтілетін максималды ағынының периодымен шектелетін үрдісі көрмегілген. Келтірілген нәтижелер тектоникалық процестердің күн белсенділігінің вариацияларымен және/немесе ғарыштық сәулелер ағынының қарқындылығымен байланысы табылған осы аймақтардың жер қыртысы көршіліс аймақтармен салыстырғанда неғұрлым жоғары электр-өткізгіштігі бар екендігі көрсетіледі. Бұл нәтижелер «ATHLET» кешенінде күшті жер сілкінісін «мюонды сәулелерінің» қысқа мерзімді болжау ғарышфизикасының жаңа әдісі негізінде жүзеге асыру идеясын қолдап отырғандығы туралы қорытынды жасалынды.

Поступила 07.07.2015 г.

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.physics-mathematics.kz>

Редактор *М. С. Ахметова*

Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 14.07.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

17,25 п.л. Тираж 300. Заказ 4.