

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 **Байғұнчекөв 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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 302 (2015), 63 – 70

**VARIATIONS OF SOLAR AND GLOBAL SEISMIC ACTIVITY
IN 21–24 SOLAR CYCLES****Zh. Sh. Zhantayev¹, B. T. Zhumabayev², G. Ya. Khachikyan², N. Toishiev², D. Kairatkyzy²**¹JSC "National Centre for Space Research and Technology", Almaty, Kazakhstan,²Institute of Ionosphere, " JSC «NCSRT», Almaty, Kazakhstan.

E-mail: galina.khachikyan@gmail.com

Key words: earthquake, seismic energy, 11 year solar cycle.

Abstract. Using the global seismic catalog NEIC for the period from 1973 to 2014, we investigated the variation frequency of earthquake recurrence and released seismic energy on the planet in connection with variations in solar activity. First, using the Gutenberg-Richter law, a lower level representative of the magnitude of this catalog has been defined, it is equal to $M = 4.5$. For the period 1973-2014, the global NEIC catalog contains information about 205,311 earthquakes with magnitudes $M \geq 4.5$. It is shown that during this time period the long-term trends in the solar and seismic activity were in opposition: the number of sunspots on the average decreased from 1973 to 2014, while the number of earthquakes, including strongest ones ($M \geq 8.0$) increased. The analyzed period included the three and a half 11 year solar cycles: 21, 22, 23 and a first half of 24 cycle. It is shown that into the 11 year solar cycle, the fewest earthquakes occur during moderate solar activity, but their number is increased by about 10% during solar minima and ~ 3-5% during solar maxima. The amount of released seismic energy of the planet changes in 11 year solar cycle in more than double, rising during the solar minimum. Possible reasons of solar-lithosphere relationships are discussed.

ВАРИАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ И ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В 21–24 СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ

Ж. Ш. Жантаев¹, Б. Т. Жумабаев², Г. Я. Хачикян², Н. Тойшиев², Д. Кайраткызы²

¹АО "Национальный Центр космических исследований и технологий» АКК МИР РК, Алматы, Казахстан, ДТОО «Институт ионосферы», АО «НЦКИТ», Алматы, Казахстан

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая энергия, 11 летний солнечный цикл.

Аннотация. По данным глобального сейсмологического каталога NEIC за период с 1973 по 2014 гг. исследованы вариации частоты повторяемости землетрясений и выделяющейся на планете сейсмической энергии в связи с вариациями солнечной активности. Вначале, с использованием закона Гуттенберга-Рихтера определен нижний уровень представительной магнитуды данного каталога, который оказался равным $M = 4.5$. За период 1973-2014гг каталог NEIC содержит данные о 205311 землетрясениях с магнитудами $M \geq 4.5$. Исследования показали, что в этот период долговременные тренды в солнечной и сейсмической активности находились в противофазе: число солнечных пятен в среднем уменьшалось от 1973 к 2014 гг., а число землетрясений, в том числе сильных ($M \geq 8.0$), увеличивалось. Анализируемый период времени включал три с половиной 11 летних циклов солнечной активности (21, 22, 23 и первую половину 24). Показано, что в 11 летних солнечных циклах наименьшее количество землетрясений происходит в годы умеренной солнечной активности, но их количество возрастает на ~10% в годы солнечных минимумов, и на ~3-5% в годы солнечных максимумов. Величина выделяющейся на планете сейсмической энергии изменяется в 11 летнем солнечном цикле в два с лишним раза, повышаясь в годы солнечных минимумов. Обсуждаются возможные механизмы солнечно-литосферных связей.

Введение. Интерес к вопросу о возможной связи между солнечной и сейсмической активностью возник еще в 19 веке, когда всемирно известный астроном Рудольф Вольф предположил [1], что активизация пятно-образовательной деятельности Солнца может влиять на активизацию сейсмичности Земли. За прошедшие более чем полтора столетия был выполнен не один десяток работ, например [2-16], где изучалась корреляция между изменением характеристик солнечной и сейсмической активности, однако, по сей день этот вопрос носит дискуссионный характер. Физический механизм солнечно-земных связей пока не разработан, а экспериментально обнаруженные корреляции между характеристиками Солнца и земной коры имеют, как правило, низкую статистическую значимость [17]. Одна из причин тому – отсутствие долговременных статистически надежных сейсмологических каталогов. Если инструментальные данные о пятно-образовательной деятельности Солнца имеются уже для 24-ех солнечных циклов, начиная с 1755 г., то глобальные сейсмологические каталоги стали формироваться в последние примерно 50 лет. Национальным Центром Информации о Землетрясениях Национальной Геологической Службы США формируется глобальный сейсмологический каталог (NEIC) с 1973 г. (<http://earthquake.usgs.gov/neic.world.epic>). В настоящей работе данные этого каталога использованы для изучения вариаций числа произошедших на планете землетрясений и выделившейся сейсмической энергии в связи с вариациями уровня солнечной активности.

Метод исследования. С января 1973 г. по декабрь 2014 г. глобальный сейсмологический каталог NEIC содержит данные о 739 703 землетрясениях с магнитудой от 1.0 до 9.1. С использованием закона Гуттенберга-Рихтера [18], который описывает зависимость между магнитудой (M) и числом землетрясений (N) в виде:

$$\text{Log } N = a - bM,$$

был определен нижний уровень представительной магнитуды данного каталога. На рисунке 1а по горизонтальной оси отложены значения магнитуд (с дискретностью 0.2), а по вертикальной – $\log N$. Согласно закону Гуттенберга-Рихтера, количество землетрясений должно уменьшаться с ростом магнитуды, и рисунок 1а показывает, что такое распределение начинается с интервала магнитуд 4.4–4.6. Этот результат позволяет заключить, что нижний уровень магнитуды представительных

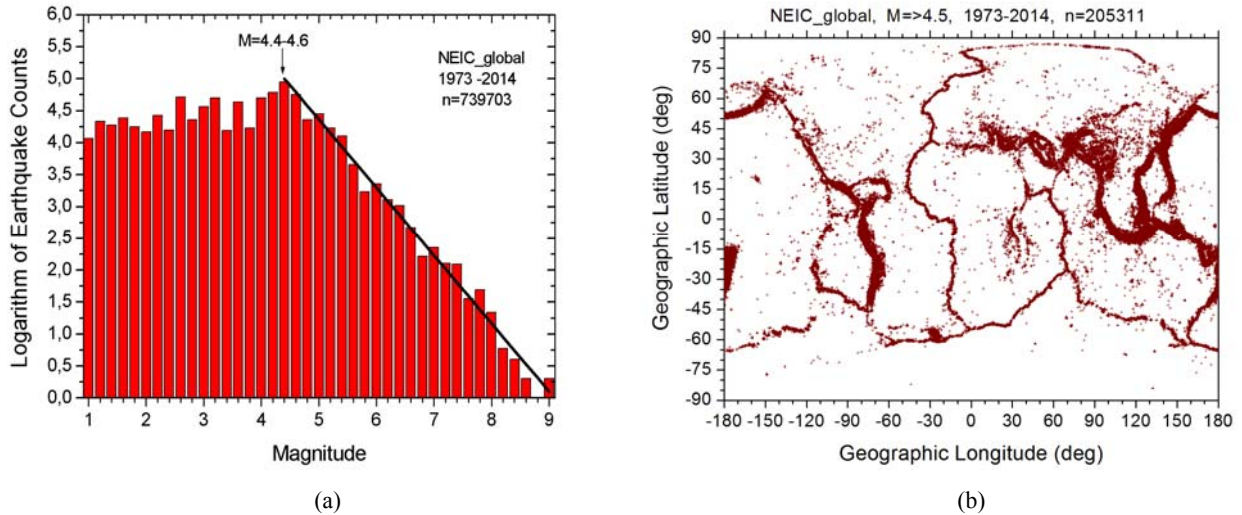


Рисунок 1 – (a) - зависимость между магнитудой и количеством землетрясений; (b) - пространственное распределение землетрясений с $M \geq 4.5$

землетрясений в глобальном сейсмологическом каталоге NEIC составляет $M=4.5$. График повторяемости землетрясений (черная линия на рисунке 2a) имеет вид:

$$\text{Log}(N) = (9,7 \pm 0,2) - (1,07 \pm 0,03) M$$

с коэффициентом корреляции $R=0.99$, среднеквадратическим отклонением $SD=0.22$, и вероятностью $P=95\%$. Основываясь на этом результате, дальнейший анализ проведен для землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$, число которых в 1973-2014 гг. составило 205311 событий. Планетарное распределение этих землетрясений показано на рисунке 1b. В качестве характеристики солнечной активности использованы числа солнечных пятен (Sunspot numbers- SSN) (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotnumber>).

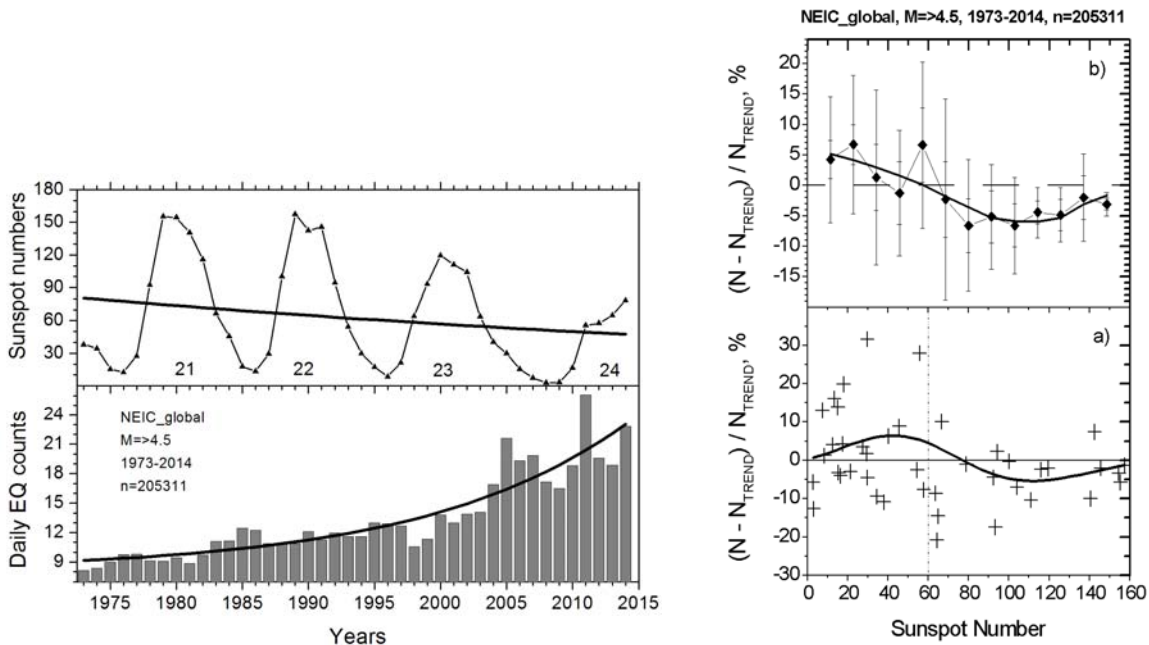


Рисунок 2 – Левая панель: сопоставление вариаций солнечной и сейсмической активности в 1973-2014 гг.; правая панель: внизу – отклонения (в процентах) числа землетрясений от долговременного тренда в зависимости от числа солнечных пятен (крестики) и результат низкочастотной фильтрации с $f_c=0.0125$ Гц (кривая); верху – те же отклонения, но усредненные для бинов солнечных пятен, равных 20 (ромбики) и их аппроксимация функцией Гаусса (кривая)

Результаты исследования. На нижней панели рисунка 2 приведено среднесуточное количество землетрясений с $M \geq 4.5$ для каждого года с 1973 по 2014, а на верхней панели - среднегодовое число солнечных пятен. Черные кривые – долговременные экспоненциальные тренды в исходных данных, которые показывают, что число солнечных пятен уменьшается от 1973 к 2014 г., а количество происходящих на планете землетрясений - увеличивается. Чтобы изучить вариации числа землетрясений на более коротких временных интервалах (внутри 11 летнего солнечного цикла), для каждого года было подсчитано относительное отклонение (в процентах) среднесуточного числа землетрясений от долговременного тренда по выражению:

$$\Delta N\% = (N - N_{TREND}) / N_{TREND} \cdot 100\%.$$

На рисунке 3а крестиками показано распределение $\Delta N\%$ в зависимости от SSN. Черная кривая - результат обработки данных низкочастотным фильтром с частотой $f_c = 0.0125$ Гц. Несмотря на существенный разброс данных можно заметить, что самые большие отрицательные значения $\Delta N\%$ приходятся на средний уровень солнечной активности, когда $60 < SSN < 100$. При низкой солнечной активности ($SSN < 60$), параметр $\Delta N\%$ имеет самые большие положительные значения, а при высокой активности ($SSN \geq 140$), значения $\Delta N\%$ остаются преимущественно отрицательными, как и при умеренной активности, но величина их становится существенно меньшей. Этот результат сохраняется и при ином способе статистической обработки данных - при усреднении значений $\Delta N\%$ внутри последовательных SSN-бинов, равных 20 (ромбики на верхней правой панели рисунка 2, где длинные и короткие вертикальные отрезки показывают величину среднеквадратического отклонения и среднеквадратической ошибки, соответственно). Жирная кривая на этой панели представляет аппроксимацию зависимости $\Delta N\%$ от SSN функцией Гаусса в виде:

$$y(x) = y_0 + [A/w \cdot (\pi/2)^{1/2}] \cdot \exp[-2 \cdot (x - x_c)^2 / w^2] \quad (1)$$

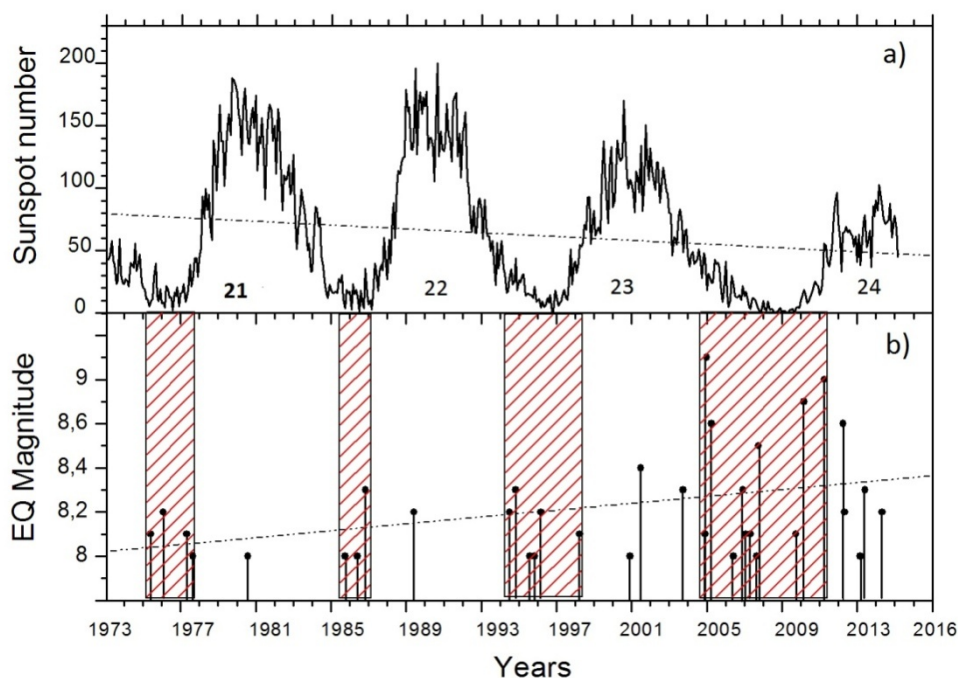


Рисунок 3 – Распределение во времени землетрясений с $M \geq 8.0$ (b) в сопоставлении с числами солнечных пятен (a), пунктирные линии - долговременные тренды в числе солнечных пятен и магнитуде землетрясений

где $y_0 = 7.9$, $A = -1848$, $w = 106.2$, $\pi = 3.14$, $x_c = 107.4$, с коэффициент корреляции $R = 0.85$. В соответствии с данными на рисунке 2 можно заключить, что в 21-23 и первой половине 24 солнечного цикла наименьшее число землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$ происходило в годы умеренной солнечной активности и увеличивалось относительно этого уровня примерно на 10% в годы низкой солнечной активности, и примерно на 3-5% - в годы высокой.

Рисунок 3 демонстрирует распределение очень сильных землетрясений ($M \geq 8.0$) внутри 11 летних солнечных циклов. В 1973–2014 гг. на планете произошло 35 таких событий, из которых 25, то есть, более 71%, было приурочено к солнечным минимумам (заштрихованные интервалы на рисунке 3) и менее 29% произошло вблизи солнечных максимумов. Пунктирные линии на рисунке 3 показывают долговременные тренды в числе солнечных пятен и магнитуде землетрясений. Видно, что магнитуда увеличивается с уменьшением солнечной активности. Три наиболее сильные землетрясения последнего десятилетия: вблизи о. Суматра в 2004г ($M=9.1$), Индонезии в 2010г ($M=8.8$) и Японии в 2011г ($M=9.0$) произошли в период аномально низкой солнечной активности, наблюдаемой на фазе спада 23 солнечного цикла и на фазе подъема 24 цикла.

Согласно [23], сейсмическая энергии (E_s), выделяемая при землетрясении, может быть определена из соотношения:

$$E_s = 10^{11.8 + 1.5 M}$$

где M – магнитуда, а энергия выражена в эргах. Используя это соотношение, были рассчитаны значения E_s для каждого из 205311 событий с $M \geq 4.5$, а затем определена суммарная величина сейсмической энергии (в Джоулях), выделившаяся на планете в каждом году с 1973 по 2014. Для большей наглядности результатов, представляем далее энергию в логарифмическом масштабе. На левой панели рисунка 4 приведены значения логарифма годового количества выделившейся энергии ($\text{Log } E_{s_yr}$) в сопоставлении с годовыми числами солнечных пятен.

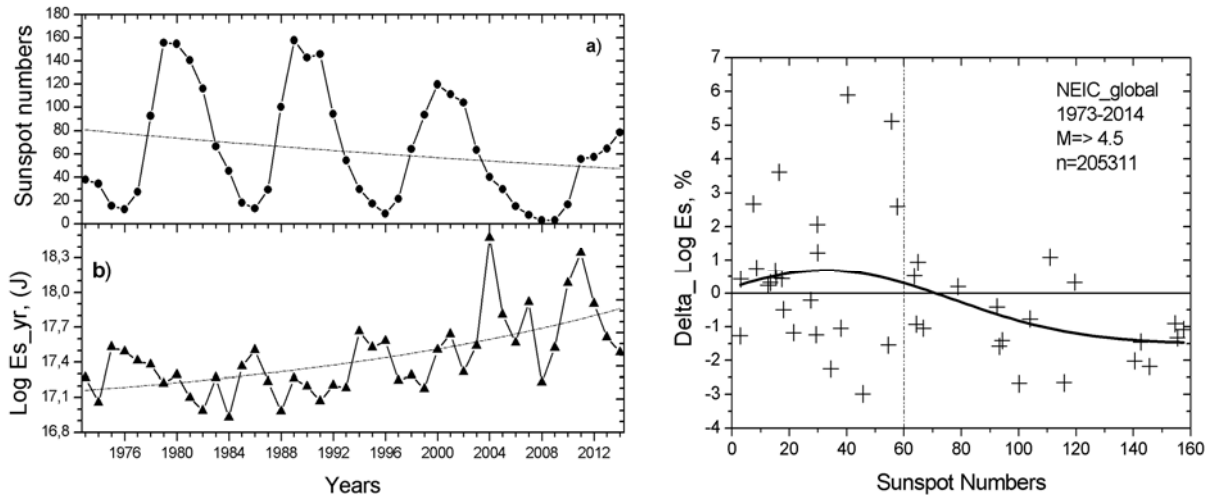


Рисунок 4 – Вариации в 1973-2014 гг. среднегодовых чисел солнечных пятен (а) и логарифма годового количества выделившейся на планете энергии (б)

Пунктирные линии на рисунке 4 показывают долговременные тренды в исходных данных. В среднем, выделившаяся на планете сейсмическая энергия возрастала с уменьшением числа солнечных пятен. На правой панели рисунка 4 показаны относительные изменения (в процентах) логарифма годового количества выделившейся энергии ($\text{Delta_Log_}E_{s_yr} \%$) в зависимости от числа солнечных пятен (крестики). Видно, что в 1973-2014 гг. годовое выделение на планете сейсмической энергии увеличивалось при низкой солнечной активности ($\text{SSN} < 60$). Жирная кривая на рисунке представляет аппроксимацию зависимости ($\text{Delta_Log_}E_{s_yr} \%$) от SSN функцией Гаусса в виде:

$$y(x) = y_0 + [A/w \cdot (\pi/2)^{1/2}] \cdot \exp[-2 \cdot (x - x_c)^2 / w^2] \quad (2)$$

где $y_0 = -1,5$, $A = 244$, $w = 88,5$, $\pi = 3.14$, $x_c = 32,6$, с коэффициент корреляции $R=0.42$. Аппроксимационная кривая на правой панели рисунка 4 говорит о том, что внутри 11 летнего цикла солнечной активности, когда число солнечных пятен изменяется в пределах от 0 до 160, значение ($\text{Log } E_{s_yr}$) может изменяться в пределах 2%. Подсчитаем на сколько при этом будет измениться величина выделяемой сейсмической энергии. По данным глобального сейсмологического каталога для периода 1973-2011 г. среднее годовое значение ($\text{Log } E_{s_yr}$) = 17.44, что соответствует средней годовой сейсмической энергии $E_s = 10^{17.44} = 2.75 \cdot 10^{17}$ Джоулей. При значении $\text{Log } E_{s_yr} = 17.79$

(увеличенном на 2%), сейсмическая энергия будет иметь величину $E_s = 10^{17.79} = 6,166 \cdot 10^{17}$ Джоулей. Таким образом, внутри 11 летнего солнечного цикла величина выделяющейся на планете за год сейсмической энергии может изменяться в два с лишним раза ($6,166 \cdot 10^{17}$ Дж / $2.75 \cdot 10^{17}$ Дж = 2.24)

Обсуждение результатов. В течение последних 42 лет (1973-2014 гг.) наблюдалось общее понижение уровня солнечной активности и сопутствующее ему повышение сейсмической активности планеты. Повышение проявилось как в частоте повторяемости землетрясений с $M \geq 4.5$ (рисунок 2), так и в количестве выделившейся на планете сейсмической энергии (рисунки 3, 4). Этот результат качественно совпадает с теми, что были получены ранее [7, 9, 11, 13, 14, 16]. Новым являются количественные результаты об изменении частоты повторяемости землетрясений и выделяющейся сейсмической энергии на более коротких временных интервалах – внутри 11 летнего солнечного цикла (рисунки 2–4) и эмпирические соотношения (1, 2). Интерпретация результатов может быть проведена на основе новой идеи [19], что землетрясение является элементом глобальной электрической цепи (ГЭЦ), токи проводимости которой могут стать триггером землетрясения. В [20] показано, что ток проводимости ГЭЦ коррелирует положительно с потоком галактических космических лучей, которые, как хорошо известно, изменяются внутри 11 летнего солнечного цикла в среднем на $\sim 10\%$, повышаясь в годы солнечных минимумов. Этот механизм позволяет объяснить и качественно, и количественно активизацию планетарной сейсмичности в минимуме солнечной активности, когда поток космических лучей максимален. Интерпретацию некоторого повышения сейсмичности в годы высокой солнечной активности, можно провести, во-первых, в рамках ГЭЦ, с привлечением информации о солнечных космических лучах, поток которых возрастает в максимуме солнечной активности, а во-вторых, можно рассмотреть другой возможный механизм активизации сейсмичности - геомагнитные бури [21], частота повторения которых, особенно самых сильных (с внезапным началом), возрастает в годы высокой солнечной активности [22]. В работе [21] показано, что геомагнитные вариации с периодами от нескольких секунд до часа, сопутствующие главной фазе геомагнитной бури, индуцируют теллурические токи (закачивают энергию в литосферу), что может стать триггером землетрясения. Эмпирические соотношения (1, 2), связывающие частоту повторяемости и энергию землетрясений с числом солнечных пятен, могли бы быть использованы на практике для долгосрочного прогноза планетарной сейсмичности, однако, эти соотношения получены на базе только трех с половиной 11 летних солнечных циклов и столь короткая статистика очевидно пока не позволяет принять этот вывод как руководство к сейсмическому прогнозу. Поэтому, требуются дальнейшие исследования в этом направлении.

Выводы:

- В течение последних 42 лет (1973-2014 гг.), долговременные тренды в солнечной и сейсмической активности находились в противофазе: число солнечных пятен в среднем уменьшалось от 1973 к 2014 гг., а число землетрясений, в том числе сильных ($M \geq 8.0$), увеличивалось.

- Внутри 11 летних солнечных циклов наименьшее количество землетрясений происходило в годы умеренной солнечной активности, возрастало на $\sim 10\%$ в годы солнечных минимумов, и на $\sim 3-5\%$ в годы солнечных максимумов.

- Величина годовой выделяющейся на планете сейсмической энергии изменялась в 11 летних солнечных циклах в два с лишним раза, повышаясь в периоды солнечных минимумов.

Работа выполнена по РБП-076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникаций» в рамках целевой программы «Развитие космических технологий мониторинга процессов на земной поверхности и в литосфере, создание элементной базы и аппаратуры для его проведения, разработка приборов, аппаратно-программных средств и подсистем космической техники» (Шифр О.0673), подпрограмма 1. «Развитие технологий наземно-космического геодезического мониторинга территории Казахстана», тема «Разработать методические основы оценки сейсмической опасности на основе данных о вариациях солнечной активности, геомагнитного поля и скорости вращения Земли», Регистрационный номер (РН) 0115PK01276.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Wolf R. On the periodic return of the minimum of sun-spots: The agreement between those periods and the variations of magnetic declination. Philos. Magazine. 1853, № 5, P. 67.

[2] Simpson J. F. Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes, Earth Planet. Sci. Lett. 1967, Vol. 3, P. 417–425.

- [3] Лурсманашвили О.В. О возможности влияния активности Солнца на распределение землетрясений Кавказа. Сообщения Академии наук Грузии, 1972, т.65, №2, С.309-312.
- [4] Сытинский А.Д. О влиянии солнечной активности на сейсмичность Земли. ДАН СССР, т. 208. 1973, № 5. С. 1078-1081.
- [5] Калинин Ю.Д. Солнечная обусловленность изменения длины суток и сейсмической активности. Красноярск, Институт Физики Сибирского Отделения АН СССР, 1974, 23 с.
- [6] Соболев Г.А., Шестопалов И.П., Харин Е.П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли, Физика Земли, 1998, № 7, С. 85-90.
- [7] Zhang, Gui-Qing. Relationship between global seismicity and solar activities, Acta Seismologica Sinica, 1998, V. 11, Issue 4, P.495-500.
- [8] Han Yanben, Guo Zengjian, Wu Jinbing and Ma Lihua Possible triggering of solar activity to big earthquakes ($MS \geq 8$) in faults with near west-east strike in China, Science in China Ser. G Physics, Mechanics and Astronomy, 2004, P. 173-181.
- [9] Shestopalov I.P., Kharin E.P. Secular variations of solar activity and seismicity of the earth, Geophysical Journal, 2006, V. 28, N. 4, P.59-70.
- [10] Odintsov S. , K. Boyarchuk, K. Georgiva, B. Kirov and D. Atanasov Long-period trends in global seismic and geomagnetic activity and their relation to solar activity, Physics and Chemistry of the Earth, 2006, P. 88-93.
- [11] Рогожин Ю.А., Шестопалов И.П. Вековые циклы сейсмичности Земли и сейсмическая безопасность АЭС, Атомная стратегия, 2007, № 29.
- [12] Khain V.E and Khalilov E.N About Possible influence of solar activity upon seismic and volcanic activities: long-term forecast, Transactions of the International Academy of Science H&E, 2007/2008, P. 217-240.
- [13] Белов С.В., Шестопалов Л.П., Харин Е.П. О взаимосвязях эндогенной активности Земли с солнечной и геомагнитной активностью, Доклады Академии Наук, 2009, Т. 428, № 1, С. 104–108.
- [14] Хачикян Г.Я, Кадырханова Н.Ж., Калиева Л.С., Джанабилова С.О. Вариации солнечной активности и сейсмичность Земли, Известия Научно-технического общества «КАХАК», 2011, №3(33), С. 103-108.
- [15] Huzaimy, J. M., and Yumoto K. Possible correlation between solar activity and global seismicity, Proc. 2011 IEEE Int. Conf. Space Sci. Comm. Penang Malaysia, 2011, P. 138–141.
- [16] Хачикян Г.Я., Садыкова А.Б., Джанабилова С. Связь частоты повторяемости землетрясений и сейсмической энергии Земли с вариациями солнечной активности, Научный журнал-приложение международного журнала «Высшая школа Казахстана», Поиск-Izdenis, 2014, № 2, С. 55-61.
- [17] Love, J., and Thomas J. N. Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes, Geophys. Res. Lett. 2013, V. 40, P. 1165–1170, doi:10.1002/grl.50211.
- [18] Gutenberg B., Richter C. F. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, 2nd edition, Princeton University Press, Princeton, 1954, 273 p.
- [19] Pulinets S.A. Physical mechanism of the vertical electric field generation over active tectonic faults, Advances in Space Research, 2009, V.44 (6), P.767–773.
- [20] Harrison, R.G. and Usoskin I. Solar modulation in surface atmospheric electricity, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 2010, Vol. 72, P. 176-182.
- [21] Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями, Физика Земли, 2001, № 11, С. 62–72.
- [22] Обридко В. Н., Х. Д. Канониди, Т. А. Митрофанова, Шельтинг Б. Д. Солнечная активность и геомагнитные возмущения. Геомагнетизм и аэрномия, 2013, том 53, № 2, С. 157–166.
- [23] Kanamori H. The energy released in great earthquakes, J. Geophysical Research, 1977, V. 82, P. 2981-2987.

REFERENCES

- [1] Wolf R. On the periodic return of the minimum of sun-spots: The agreement between those periods and the variations of magnetic declination. Philos. Magazine. 1853, № 5, P. 67.
- [2] Simpson J. F. Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes, Earth Planet. Sci. Lett. 1967, Vol. 3, P. 417–425.
- [3] Lursmanashvili O.V. On the possibility of the effect of solar activity on the distribution of Caucasian earthquakes. Posts Georgian Academy of Sciences, 1972, t.65, №2, S.309-312.
- [4] Sytinskyi A.D. On the influence of solar activity on the Earth's seismic activity. Akad, V.208. 1973, № 5.
- [5] Kalinin Y.D. Solar-driven changes in the length of day and seismic activity. Krasnoyarsk, Institute of Physics, Siberian Branch of the USSR, 1974, 23 p.
- [6] Sobolev G.A., Shestopalov I.P., Harin E.P. Geoeffectiveness solar flares and seismic activity of the Earth Physics of the Earth, 1998, № 7, pp 85-90.
- [7] Zhang, Gui-Qing. Relationship between global seismicity and solar activities, Acta Seismologica Sinica, 1998, V. 11, Issue 4, P.495-500.
- [8] Han Yanben, Guo Zengjian, Wu Jinbing and Ma Lihua Possible triggering of solar activity to big earthquakes ($MS \geq 8$) in faults with near west-east strike in China, Science in China Ser. G Physics, Mechanics and Astronomy, 2004, P. 173-181.
- [9] Shestopalov I.P., Kharin E.P. Secular variations of solar activity and seismicity of the earth, Geophysical Journal, 2006, V. 28, N. 4, P.59-70.
- [10] Odintsov S. , K. Boyarchuk, K. Georgiva, B. Kirov and D. Atanasov Long-period trends in global seismic and geomagnetic activity and their relation to solar activity, Physics and Chemistry of the Earth, 2006, P. 88-93.
- [11] Rogozhin Y. A., Shestopalov I.P. The age-old cycles of the Earth's seismicity and seismic safety of nuclear power plants, Nuclear strategy, 2007, № 29. P. 1-7.

- [12] Khain V.E and Khalilov E.N About Possible influence of solar activity upon seismic and volcanic activities: long-term forecast, Transactions of the International Academy of Science H&E, 2007/2008, P. 217-240.
- [13] Belov S.V., Shestopalov L.P., E.P. Harin. On the relationship of endogenous activity of the Earth with solar and geomagnetic activity, reports the Academy of Sciences, 2009 T. 428, № 1, pp 104-108.
- [14] Khachikyan G.Ya, Kadyrhanova N. J, Kalieva L.S., Dzhanabilova S.O. Variations in solar activity and seismicity of the Earth, the Scientific and Technical Proceedings of the Society "КАКНАК", 2011, №3 (33), pp 103-108.
- [15] Huzaimy, J. M., and Yumoto K. Possible correlation between solar activity and global seismicity, Proc. 2011 IEEE Int. Conf. Space Sci. Comm. Penang Malaysia, 2011, P. 138–141.
- [16] Khachikyan G.Y, Sadykova A.B., Dzhanabilova C. Communication recurrence frequency of earthquakes and seismic energy of the Earth and variations in solar activity, the scientific journal application of the international journal "Higher School of Kazakhstan" Search-Izdenis, 2014, № 2, pp 55-61.
- [17] Love, J., and Thomas J. N. Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes, Geophys. Res. Lett. 2013, V. 40, P. 1165–1170, doi:10.1002/grl.50211.
- [18] Gutenberg B., Richter C. F. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, 2nd edition, Princeton University Press, Princeton, 1954, 273 p.
- [19] Pulnits S.A. Physical mechanism of the vertical electric field generation over active tectonic faults, Advances in Space Research, 2009, V.44 (6), P.767–773.
- [20] Harrison, R.G. and Usoskin I. Solar modulation in surface atmospheric electricity, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 2010, Vol. 72, P. 176-182.
- [21] Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A., Harin E.P. On the relationship between seismicity and magnetic storms, Physics of the Earth, 2001, № 11, P. 62-72.
- [22] Obridko V.N., H. D. Kanonidi, T.A. Mitrofanov, Shelting B.D. Solar activity and geomagnetic disturbances. Geomagn, 2013, Volume 53, № 2, P.. 157-166
- [23] Kanamori H. The energy released in great earthquakes, J. Geophysical Research, 1977, V. 82, P. 2981-2987.

21–24 КҮН ЦИКЛІНІҢ КҮННІҢ ЖӘНЕ ГЛОБАЛДІ СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІКТЕРІНІҢ ВАРИАЦИЯСЫ

Ж. Ш. Жантаев¹, Б. Т. Жұмбаев², Г. Я. Хачикян², Н. Тойшиев², Д. Қайратқызы²

¹«Ұлттық Ғарыштық Зерттеулер мен Технологиялар Орталығы» АҚ, АҒК ИДМ ҚР, Алматы, Қазақстан,
²«Ионосфера институты» ЕЖШС, «ҰҒЗТО» АҚ, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: жер сілкінісі, сейсмикалық энергия, 11 жылдық күн циклі.

Аннотация. Мерзімнің NEIC глобалді сейсмологиялық каталог бойынша 1973-2014 жж. период ішінде жер сілкіністерінің қайталанғыштық жиіліктерінің вариацияларымен қатар ғаламшарда таралған сейсмикалық энергияларының күн белсенділігінің вариацияларымен байланысы зерттелді. Бастапқыда, Гуттенберг-Рихтер заңын пайдалана отырып тең осы каталогтан ұсынылған төменгі деңгейдегі магнитудалар $M=4.5$ анықталды. 1973-2014 жж. осы NEIC каталогынан $M \geq 4.5$ магнитудасымен 205311 жер сілкіністерді құрап жатыр. Зерттеулер көрсетті, күн және сейсмикалық белсенділікте ұзақ мерзімді ағым ішінде бұл периодта қарама-қарсы фазада болды: күн дақтарының саны 1973 ж-дан 2014 ж-ға дейін орташа азаюда, ал жер сілкіністердің саны, соның ішінде күшті жер сілкіністер саны ($M \geq 8.0$), ұлғайды. Уақыт периодына талдау жасасақ, күн белсенділігінің үш жарым 11 жылдық циклі кіретіні анықталды (21, 22, 23 және 24-ң бірінші жартысы). Тебетейған, күннің 11 жылдық циклінде қалыпты күн білсенділігінің жылдарында жер сілкіністердің ең аз сандары байқалады, бірақ олардың сандары күн білсенділігінің минимум жылдарында $\sim 10\%$ -ға, ал күн білсенділігінің максимум жылдарында $\sim 3\text{-}5\%$ -ға өсетіні көрсетілді. Ғаламшарда таралған сейсмикалық энергияның 11 жылдық күн циклінің өзгерісінің шамасы күн білсенділігінің минимум жылдарынан екі еседен артық жоғары. Күн-литосфералық байланыстардың ықтималды механизмдері талқыланды.

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.