

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.50>

Volume 3, Number 331 (2020), 169 – 176

UDC 550.348; 550.385.4

Zhu. Sha. Zhantayev¹, G. Ya. Khachikyan¹,
S. A. Pulinets², B.T. Zhumabayev¹, N.S. Toyshiev¹

¹Institute of Ionosphere JSC "National Centre Research and Technology", Almaty, Kazakhstan;

²Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: admion1@mail.ru

RESEARCH OF VARIATIONS OF SEISMIC ACTIVITY IN CONNECTION WITH VARIATIONS OF STRUCTURE AND DYNAMICS OF THE EARTH'S RADIATION BELT

Abstract. For earthquakes with a magnitude of $M \geq 4.5$ that occurred on the planet in 1973-2017 (more than 220 thousand events in accordance with the NEIC USGS seismological catalog), the values of the McIlvine parameter (L) indicating the distance of geomagnetic lines to the center of the Earth at the equator, expressed in the radii of the earth are calculated, The histogram of the distribution of the number of earthquakes depending on the parameter L showed a decrease in their number with an increase in L , but two intervals stand out against the trend: $3.3 \leq L \leq 3.7$ and $2.1 \leq L \leq 2.25$, in which the number of earthquakes is statistically significantly decreased / increased relatively to the trend. Deviations are positively correlated with an decreased / increased population of these lines by high-energy particles in the radiation belt. After the magnetic storms devastate the external electron belt with the concomitant formation of rings of relativistic electrons in the inner magnetosphere around certain L , an increase in seismic activity occurs at the base of these lines on the earth's surface, but with a delay of ~ 2 months. So, after a magnetic storm on March 24, 1991, an additional radiation belt was formed around $L = \sim 2.6$, and on May 30, 1991, an M7.0 earthquake in Alaska occurred at the base of $L = 2.69$. After a magnetic storm on September 3, 2012, an additional belt formed around $3.0 \leq L \leq 3.5$, and on October 28, 2012, an M7.8 earthquake occurred off the coast of Canada at the base of $L = 3.32$. After a magnetic storm on June 23, 2015, a belt of relativistic electrons formed around $L = 1.5-1.8$, and in September 2015 seismic activity significantly increased at the base of these geomagnetic lines and it is interesting that at the same time on September 16, 2015, an M8.3 earthquake occurred in Chile, though at the base of the lower geomagnetic line $L = 1.12$.

Key words: radiation belt, geomagnetic storm, earthquake.

Introduction. One of the areas of scientific research at the Institute of Ionosphere of the National Center for Space Research and Technology is the study of solar-terrestrial communications, including solar-lithospheric communications [1-5]. Statistically significant correlations between variations of solar and seismic parameters were established, but the physical mechanism of the correlations found has not yet been developed. It is assumed that the Earth's radiation belt can be one of the communication intermediaries, since it is found the precipitation of charged particles along the geomagnetic line (L), immersed in the earth's crust inside the region of the future epicenter [6-8]. Methods were developed for a short-term forecast of strong earthquakes from the data on the precipitation of charged particles from the radiation belt (Former USSR patent No. 1583906, IPC5 G01V5 / 00, 08/07/1990; patent of the Russian Federation No. 1762644 MPK5 G01V3 / 00 /, 06/30/1994). However, in practice, these techniques are not yet used. One of the reasons is that there is no statistically reliable information on the relationship between processes in the lithosphere and the Earth's radiation belt obtained on rather long series of experimental data. This work aims to fill this gap to some extent.

Earthquake distribution depending on the value of the McIlvine parameter. The Earth's radiation belt is mainly filled with electrons in the upper part and protons in the lower part. These particles

undergo rotational and translational movements around and along geomagnetic lines in accordance with the energy of charged particles [9]. Geomagnetic lines can be characterized by the McIlvine parameter (L), indicating (in terrestrial radii) the distance from the top of the line above the geomagnetic equator to the center of the Earth [10].

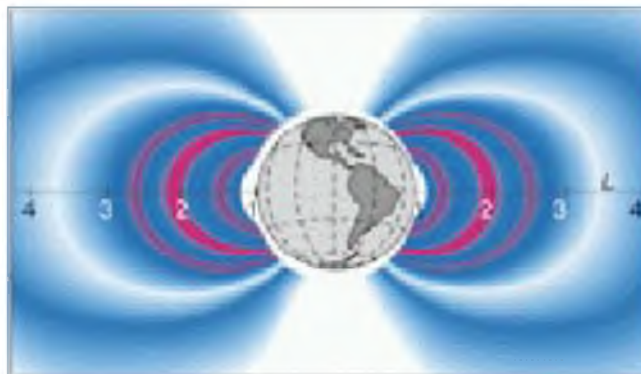


Figure 1 - Meridional section of the Earth's radiation belt with the Mc Ilvine parameter (L) from [9]

The studies were conducted according to the NEIC global seismological catalog (USGS) (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>). We used data on earthquakes with a magnitude of $M \geq 4.5$, recorded on the planet in 1973-2017 (more than 220 thousand events). For the epicenter of each earthquake, the value of the parameter L was calculated by the technique presented earlier in [11], which uses the computer codes of the GEOPACK program [12]. Figure 2 shows on a logarithmic scale a histogram of the distribution of the number of earthquakes depending on the values of the parameter L at the epicenters.

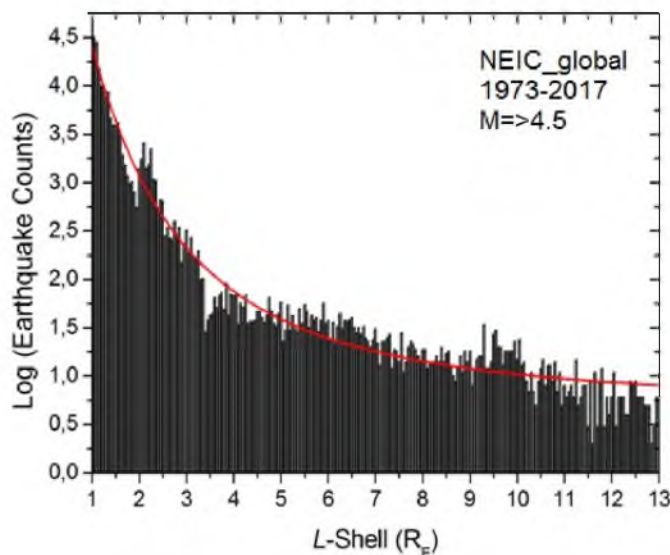


Figure 2 - Distribution of the number of earthquakes with $M \geq 4.5$ recorded on the planet in 1973-2017 (more than 220 thousand events) depending on the McIlvine parameter L

Figure 2 shows that the number of earthquakes decreases with increasing L, the observed trend (red curve) can be approximated by the Lorentz equation:

$$\text{Log } N = Y_0 + (2A/\pi) [W / (4 (L - Xc)^2 + W^2)],$$

where N is the number of earthquakes, L is the McIlvine parameter, $Y_0 = 0.91 \pm 0.06$; $Xc = -1.36 \pm 1.01$; $W = 3.25 \pm 1.38$; $A = 57.4 \pm 43.7$, with a correlation coefficient of $R = 0.98$, and a probability of $P = 95\%$.

Figure 3 shows the deviations of the number of earthquakes from the trend, where two horizontal dash-dotted lines indicate the double standard deviation $SD = 0.17$.

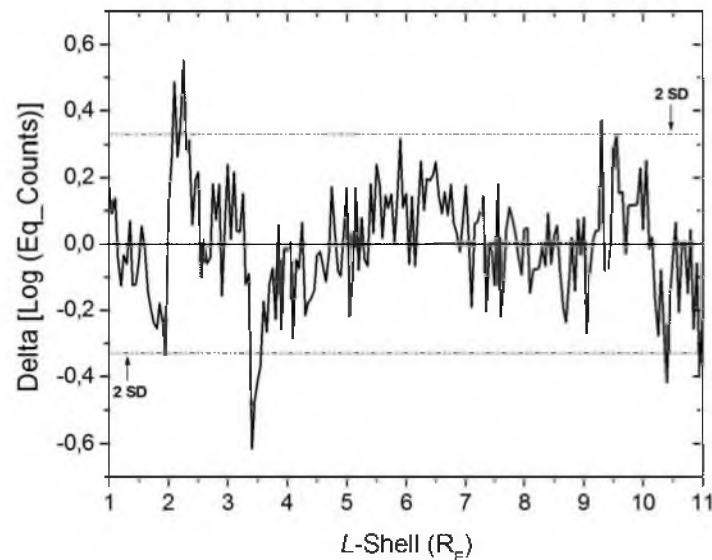


Figure 3 - Distribution according to the McIlvine parameter of the deviation of the number of earthquakes from the trend in Figure 1

In figure 3, two L-gaps ($2.1 \leq L \leq 2.25$) and ($3.3 \leq L \leq 3.7$) are distinguished, where positive / negative deviations from the trend are statistically significant - exceed the 2SD level. Comparing figures 3 and figure 1, it is not difficult to understand that negative deviations in the number of earthquakes around ($3.3 \leq L \leq 3.7$) coincides with the region of the radiation belt around $L = \sim 3.5$ (white color in figure 1), which separates its internal and external parts and in which the population of magnetic lines by charged particles is weakened. As for the positive deviations in figure 3 around of ($2.1 \leq L \leq 2.25$), they fall in the region in radiation belt around $L = \sim 2$ (red in figure 1), where the population of geomagnetic lines by charged particles is the highest.

The dynamics of the radiation belt and seismic activity. The main source of disturbances in the radiation belt are magnetic storms, and especially strong ones. Immediately after the onset of the storm, the outer electronic part of the belt “inflates” as it were, and begins to occupy not only the upper part of the magnetosphere, but also its middle and inner parts. After a few days or weeks, the volume of the electron belt is compressed, and after a few more days - weeks, it is restored to the state that was before the magnetic storm. But, in the inner magnetosphere an additional belt of high-energy electrons is formed around geomagnetic lines with smaller L , which can exist for several days up to a year or more [13-17]. Such an effect was first discovered after a strong magnetic storm that occurred on March 24, 1991. At this time, the CRRES satellite was located on the geomagnetic shell $L = \sim 2.6$ and its instruments detected powerful fluxes of electrons with $E \sim 15$ MeV and protons with $E \sim 20-110$ MeV [18]. These flows formed a new (additional) radiation belt around $L = \sim 2.6$, which lasted about two years and was observed also by the MIR orbital station [9]. Figure 4 shows a histogram of the number of earthquakes with $M \geq 4.5$ at the base of $L = 2.5 - 2.7$ in different months of 1991. We see that the largest number of earthquakes occurred in May, that is, approximately two months after the start of the magnetic storm. The strongest in this situation was the M7.0 earthquake in Alaska, which occurred on 05.30.1991 at 13.29 UT with the coordinates of the epicenter 54.57° N, 161.61° E at the base of the magnetic line $L = 2.69$, which belongs to the new radiation belt.

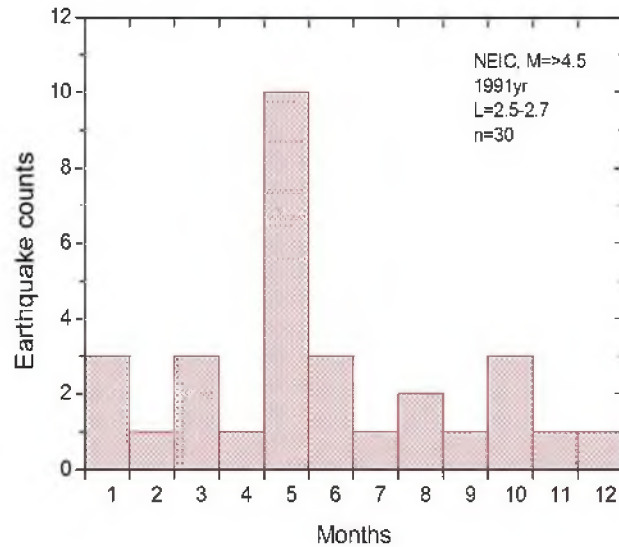


Figure 4 - A histogram of the number of earthquakes with a magnitude of $M \geq 4.5$ that occurred on the planet at the base of geomagnetic lines $L = 2.5 - 2.7$ in different months of 1991

During the operation of the Van Allen Probes satellites (2012–2019), two very bright cases of the formation of new radiation belts after geomagnetic storms were recorded [14, 16]. In both cases, there was an increase in seismic activity at the base of the geomagnetic lines of the new radiation belts, also with a delay of about two months [19]. So, after a magnetic storm on September 3, 2012, an additional belt of relativistic electrons formed around $3.0 \leq L \leq 3.5$ [14], and on October 28, 2012, a strong M7.8 earthquake occurred off the coast of Canada with coordinates 52.79°N , 132.1°W at the base $L = 3.32$, which falls precisely on the center of the newly formed radiation belt. Also, it was shown in [16] that after a magnetic storm on June 23, 2015, a new belt of relativistic electrons formed around $L = 1.5-1.8$ (figure 5). Analysis of seismic data in regions penetrated by geomagnetic lines $L = 1.5-1.8$ showed (figure 6) that their number increased significantly in September 2015, which again shifted by a couple of months relative to the beginning of a magnetic storm.

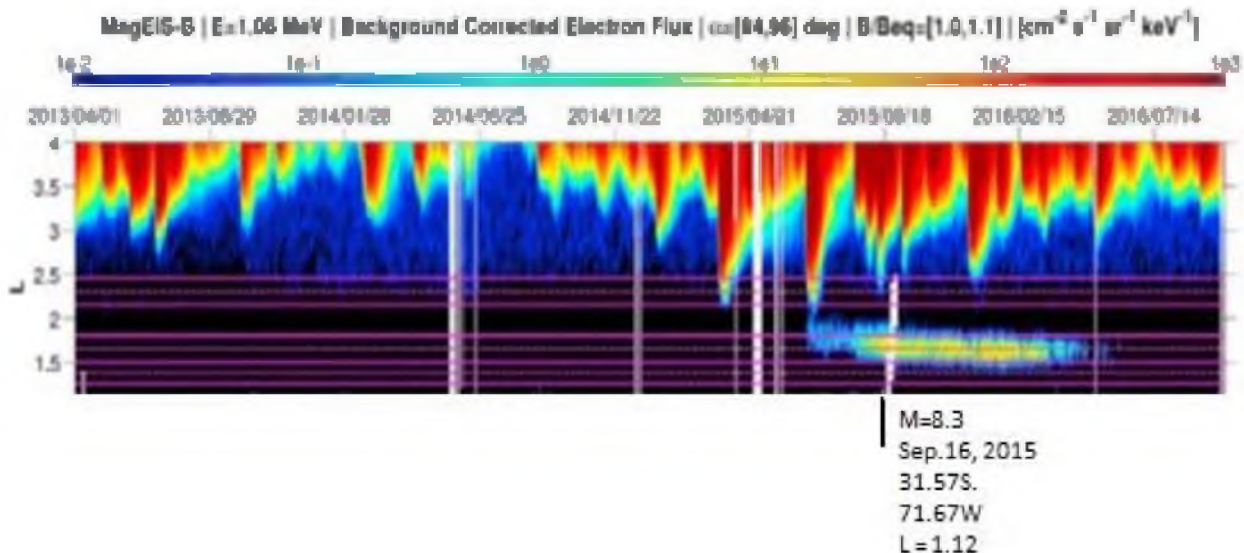


Figure 5 - Distribution over time and geomagnetic lines of the average daily values of the electron flux with $E = 1.06$ MeV from April 2013 to September 2016 from [16]

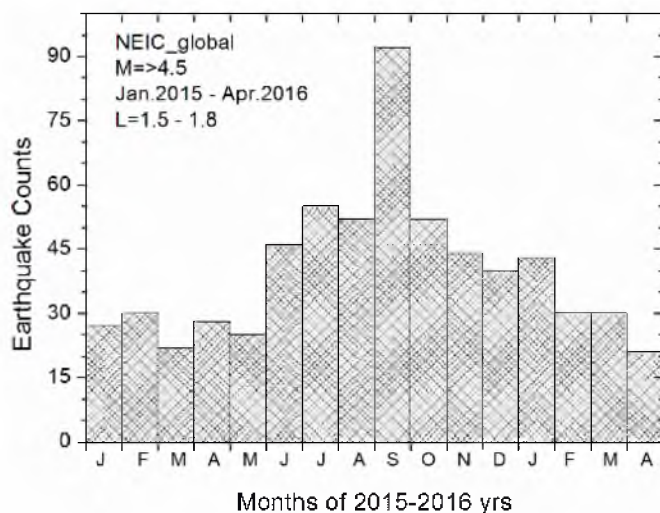


Figure 6 - The number of earthquakes with $M \geq 4.5$ that occurred at the base of the geomagnetic lines $L = 1.5-1.8$ in each month from January 2015 to April 2016

In figure 5, the arrow below marks the date of the very strong M8.3 earthquake that occurred in Chile on September 16, 2015 with the coordinates of the epicenter 31.57°S , 71.67°W . On average, only one earthquake with a magnitude of 8.0 or more occurs annually on the planet. Interestingly, in 2015, the time of the occurrence of such an event was timed to coincide with the period of development of the additional radiation belt after the geomagnetic storm, although on the lower geomagnetic line $L = 1.12$. We can add that this case is not an isolated one, a similar situation occurred after the strongest geomagnetic storms in late October – November 2003 (Halloween Storm), which resulted in the formation of a new belt of relativistic electrons at $L < 1.5$ [13], which lasted more than a year. During this period, three major earthquakes occurred on the planet in a very short period of time (December 2004 - March 2005). They are: M8.1, December 23, 2004; M9.1, December 26, 2004; and M8.6, March 28, 2005.

Conclusion Data on earthquakes with $M \geq 4.5$ that occurred on the planet in 1973-2017 (more than 220 thousand events) demonstrate a statistically significant increase / decrease in their number at the base of geomagnetic lines with enhanced / weakened population of charged particles in the radiation belt. The process of emptying the external electronic radiation belt by a geomagnetic storm, followed by the formation of a new (additional) radiation belt in the inner magnetosphere is accompanied, after about two months, by an increase in seismic activity at the base of the geomagnetic lines of the new radiation belt. The results may be considered as a factual material for the development of the physical mechanism of solar-terrestrial, including solar-lithospheric relationships.

Ж. Ш. Жангаев¹, Г. Я. Хачикян¹, С.А. Пулинц², Б.Т. Жумабаев¹, Н.С. Тойшиев¹

¹Ионосфера институты, «ҰҒЗТО» АҚ, Алматы, Қазақстан;

²РҒА Ғарыштық зерттеулер институты, Мәскеу, Ресей

ЖЕРДІҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ БЕЛДЕУЛЕРІНІҢ ДИНАМИКАСЫ МЕН ВАРИАЦИЯЛАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫНА БАЙЛАНЫСТЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІК ВАРИАЦИЯЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Жұмыстың мақсаты-негізгі сейсотектоникалық белдеулер мен жердің радиациялық белдеуінің құрылымы және динамикасы арасындағы сәйкестік дәрежесін анықтау. Орбиталық станцияларындағы Салют-6, жасанды жерсерік Метеордағы МИР, OREOL-3, Intercos-Bulgaria-1300, GAMMA, SAMPEX, Demeter аспаптарымен алынған нәтижелерді негізге ала отырып, күшті жер сілкінісінен бірнеше сағат алдында болашақ эпицентр ауданы ішінде жер қыртысына тиелген геомагниттік күш сызығы (L) бойындағы радиациялық белдіктен зарядталған бөлшектер төгілуі мүмкін екенін көрсетті [6-8]. Бұл нәтижелер бұрынғы КСРО-да патенттер берілген радиациялық белдіктен оқталған бөлшектердің төгілуі туралы деректер бойынша күшті жер сілкіністерінің орны мен уақытын қысқа мерзімді болжаудың

әзірленген әдістемелерінің негізіне алынды: № 1583906, МПК5 G01V5/00, 07.08.1990 ж, ал кейіннен Ресей Федерациясында: №1762644 МПК 5 G01V3/00/, 30.06.1994 ж. Алайда, іс жүзінде бұл әдістемелер әлі де пайдаланылмайды, себебі сейсмикалық белсенділіктің ағымдағы вариациялары мен жердің радиациялық белдеуі арасындағы сәйкестік дәрежесі туралы нақты түсінік жоқ. Жою үшін, кейбір дәрежеде, осы бос орын L параметрінің мәндері бойынша жер сілкіністерінің санын бөлу гистограммасы алынды. Ол үшін 1973-2017 жж. планетада орын алған $M \geq 4.5$ магнитудасы бар жер сілкіністері үшін NEIC (USGS) жаһандық сейсмологиялық каталогының деректері пайдаланылды (220 мың оқиға). Өрбір эпицентр үшін халықаралық геомагнитті өрістің анықтамалық моделін (IGRF) және GEOPACK бағдарламасының компьютерлік кодтарын қолдану арқылы L параметрінің мәні есептелген [12]. Магнитудасы 4.5 және одан да көп жер сілкіністерінің таралу гистограммасы L параметріне байланысты олардың саны L ұлғаюымен азайғанын көрсетті (L мәндері төменгі географиялық ендерден жоғары, ал жер сілкіністерінің саны ендіктің ұлғаюымен азайатыны белгілі). Байқалатын тренд $R=0.98$ корреляция коэффициенті бар Лоренц теңдеуімен аппроксимациялануы мүмкін. Сонымен қатар, гистограмма тренд аясында екі L-аралықтың бөлінетінін көрсетті: $3.3 \leq L \leq 3.7$ және $2.1 \leq L \leq 2.25$, онда жер сілкіністерінің саны статистикалық жағынан трендке қатысты едәуір төмендеген/жоғарылаған, бұл жердің радиациялық белдеуінде осы геомагниттік сызықтардың төмен/жоғары қоныстануымен оң байланысты. Радиациялық белдеуде зарядталған бөлшектермен қоныстану тығыздығы жоғары геомагнит желілерімен нөмірленген сейсмикалық белсенді өңірлерде сейсмикалық белсенділік артты, ал қоныстану тығыздығы аз геомагнит желілерімен нөмірленген өңірлерде сейсмикалық белсенділік төмендеді деген қорытынды жасалды. Радиация белдеулеріндегі динамикалық процестердің сейсмикалық процестермен байланысын зерттеу үшін CRESS, SAMPEX және Van Allen Probes спутниктерімен алынған және жұмыстардағы геомагнитті дауылдан кейінгі радиациялық белдеу құрылымының драмалық өзгерістері туралы деректер қолданылды [13-18]. Драматизм-геомагнитті дауыл басталғаннан кейін релятивистік электрондармен қоныстанған радиациялық белдеудің сыртқы бөлігі "үрленеді" және жоғарғы магнитосфераны ғана емес, өтпелі қабатты (slot region) алады. Бірнеше сағаттан кейін (күн) электрондық белдеу қысылады, содан кейін бірнеше күннен кейін – геомагнитті дауылға дейін қалпына келтіріледі. Бірақ сонымен қатар, ішкі магнитосферада L параметрінің аз мәні бар геомагниттік сызықтардың айналасында релятивистік электрондардан қосымша белдеу қалыптасады, ол бірнеше күннен бір жылға дейін және одан да көп өмір сүре алады. Алғаш рет мұндай әсер 1991 жылдың 24 наурызында геомагнитті дауылдан кейін CRRES [18] және орбиталық станциясы "МИР" [9], жерсеріктерінде тіркелді, жаңа (қосымша) радиациялық белдеу $L \sim 2.6$ геомагнитті сызық айналасында қалыптасқан кезде. Сейсмологиялық деректерді талдау геомагниттік сызықтармен нөмірленген өңірлерде $L=2.5-2.7$, жер сілкіністерінің саны ~ 2 айдан кейін ал 1991 жылғы 30 мамырда айтарлықтай өсті, жаңа радиациялық белдікке жататын $L=2.69$ геомагнитті желі негізінде Аляскада $M=7.0$ жер сілкінісі орын алды. 2012 жылдың 3 қыркүйегінде геомагнитті дауылдан кейін "Van Allen Probes" жерсеріктері $3.0 \leq L \leq 3.5$ [14] геомагнитті желілердің айналасында қосымша радиациялық белдеуді тіркеді, ал 2012 жылдың 28 қазанында ~ 2 ай өткен соң жаңа радиациялық белдеуге жататын $L=3.32$ негізінде Канада жағалауындағы күшті $M=7.8$ жер сілкінісі болды. Геомагнитті Дауылдан кейін 2015 жылғы 23 маусымда $L=1.5-1.8$ геомагнитті сызықтардың айналасында релятивистік электрондардың жаңа белдеуі қалыптасты, ал осы сызықтардың негізінде сейсмикалық белсенділік тек 2015 жылдың қыркүйегіне дейін ғана ең жоғары деңгейге жетті. Алынған нәтижелерді күн-жер, оның ішінде күн-литосфералық байланыстардың физикалық механизмін әзірлеу үшін нақты материал ретінде қарастыруға болады.

Түйін сөздер: радиациялық белдеу, геомагнитті дауыл, жер сілкінісі

Ж. Ш. Жантаев¹, Г. Я. Хачикян¹, С.А. Пулинц², Б.Т. Жумабаев¹, Н.С. Тойшиев¹

¹Институт ионосферы АО «НЦКИТ», Алматы, Казахстан;

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В СВЯЗИ С ВАРИАЦИЯМИ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ

Аннотация. Цель работы – определить степень соответствия между структурой и динамикой основных сейсмотектонических поясов и радиационного пояса Земли. Постановку задачи обусловили результаты, полученные приборами на орбитальных станциях Салют-6, МИР на ИСЗ Метеор, OREOL-3, INTERCOSMOS-BULGARIA-1300, GAMMA, SAMPEX, DEMETER, которые показали, что за несколько часов перед сильным землетрясением может происходить высыпание заряженных частиц из радиационного пояса вдоль геомагнитной силовой линии (L), погруженной в земную кору внутри района будущего

эпицентра [6-8]. Эти результаты легли в основу разработанных методик краткосрочного прогноза места и времени сильных землетрясений по данным о высыпании заряженных частиц из радиационного пояса, на что были выданы патенты в бывшем СССР: № 1583906, МПК5 G01V5/00, 07.08.1990г, а потом в Российской Федерации: №1762644 МПК5 G01V3/00/, 30.06.1994 г. Однако, на практике эти методики пока не используются и отчасти по той причине, что нет четкого понимания о степени соответствия между текущими вариациями сейсмической активности и радиационного пояса Земли. Для устранения, в некоторой степени, данного пробела получена гистограмма распределения количества землетрясений по значениям параметра L . Для этого были использованы данные глобального сейсмологического каталога NEIC (USGS) для землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$, произошедших на планете в 1973-2017 гг. (более 220 тысяч событий). Для каждого эпицентра было рассчитано значение параметра L с использованием международной справочной модели геомагнитного поля (IGRF) и компьютерные коды программы GEOPACK [12]. Гистограмма распределения количества землетрясений с магнитудой 4.5 и более в зависимости от параметра L показала, что их количество уменьшается с увеличением L (значения L увеличиваются от низких географических широт к высоким, а количество землетрясений, как известно, уменьшается с увеличением широты). Наблюдаемый тренд может быть аппроксимирован уравнением Лоренца с коэффициентом корреляции $R=0.98$. Одновременно, гистограмма показала, что на фоне тренда выделяются два L -промежутка: $3.3 \leq L \leq 3.7$ и $2.1 \leq L \leq 2.25$, на которых количество землетрясений статистически значимо понижено/повышено относительно тренда, что положительно коррелирует с пониженной/повышенной заселенностью этих геомагнитных линий заряженными частицами в радиационном поясе Земли. Сделан вывод, что в сейсмоактивных регионах, пронизанных геомагнитными линиями с высокой плотностью заселения заряженными частицами в радиационном поясе, сейсмическая активность повышена, а в регионах, пронизанных геомагнитными линиями с малой плотностью заселения, сейсмическая активность понижена. Для исследования связи динамических процессов в радиационном поясе с сейсмическими процессами были использованы данные о драматических изменениях структуры радиационного пояса после геомагнитных бурь, полученные спутниками CRESS, SAMPEX, и Van Allen Probes и детально проанализированные в работах [13-18]. Драматизм заключается в том, что после начала геомагнитной бури внешняя часть радиационного пояса, заселенная релятивистскими электронами, «раздувается» и начинает занимать не только верхнюю магнитосферу, но и переходный слой (slot region). Спустя несколько часов (дней) электронный пояс сжимается, а затем спустя еще несколько дней – восстанавливается до состояния, которое было до геомагнитной бури. Но при этом, во внутренней магнитосфере вокруг геомагнитных линий с малыми значениями параметра L формируется дополнительный пояс из релятивистских электронов, который может существовать от нескольких дней до года и более. Впервые такой эффект был зарегистрирован после геомагнитной бури 24 марта 1991 г. спутником CRRES [18] и орбитальной станцией «МИР» [9], когда новый (дополнительный) радиационный пояс сформировался вокруг геомагнитной линии $L = \sim 2.6$. Анализ сейсмологических данных показал, что в регионах, пронизанных геомагнитными линиями $L=2.5-2.7$ количество землетрясений заметно повысилось спустя ~ 2 месяца, а 30 мая 1991 г. произошло сильное $M7.0$ землетрясение на Аляске в основании геомагнитной линии $L=2.69$, принадлежащей новому радиационному поясу. После геомагнитной бури 3 сентября 2012 г. спутники «Van Allen Probes» зарегистрировали дополнительный радиационный пояс вокруг геомагнитных линий $3.0 \leq L \leq 3.5$ [14], а спустя ~ 2 месяца 28 октября 2012 г. произошло сильное $M7.8$ землетрясение у побережья Канады в основании $L=3.32$, принадлежащей новому радиационному поясу. После геомагнитной бури 23 июня 2015г сформировался новый пояс релятивистских электронов вокруг геомагнитных линий $L=1.5-1.8$ [16], а сейсмическая активность в основании этих линий достигла максимального уровня только к сентябрю 2015 г. Полученные результаты можно рассматривать как фактический материал для разработки физического механизма солнечно-земных, в том числе, солнечно-литосферных связей.

Ключевые слова: радиационный пояс, геомагнитная буря, землетрясение.

Information about authors:

Zhantayev Zhu.Sha., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, Director, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Corresponding member of NAS RK; admion1@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9189-9546>;

Khachikyan G.Ya., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, Main scientific worker, Doctor of Physical and Mathematical Sciences; galina.khachikyan@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3043-1728>;

Pulinets S. A., Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия, Main scientific worker, Doctor of Physical and Mathematical Sciences; pulse1549@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3944-6686>;

Zhumabayev B., N., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, Chief of geomagnetic department, Candidate of Physical and Mathematical Sciences; beibit.zhu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7882-0277>;

Toyshiev N. S., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, Chief of geomagnetic sector, toyshiev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4255-9641>

This work was performed according to RBP-008 “Development of space technologies for monitoring and forecasting natural resources, technological changes in the environment, creation of space technology and ground space infrastructure, research of space objects” in the frame of a project “Development of statistical models of spatio-temporal variations of seismic characteristics in connection with variations in the structure and dynamics of the Earth’s radiation belt (2018-2020), Registration number: 0118PK00797.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Zhantayev Zhu. Sha., Kurmanov B.K., Khachikyan G.Ya., Kim A.S., Zhumabaev B.T. (2013). Lithospace weather: the current state of the problem. *Geodynamics and solar-terrestrial communications*. Almaty. 2013. P. 20-39.

[2] Zhantayev Zhu. Sha., Zhumabaev B.T., Khachikyan G.Ya., Toyshiev N., Kairatkyzy D. (2015). Variations of solar and global seismic activity in 21-24 solar cycles. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of physical*. N 4 (2015). P. 63-70. ISSN 1991-346X.

[3] Zhantayev, Zhu. Sha., Khachikyan, G. Ya., & Sadykova, A. B. (2019). The influence of solar activity on the seismic regime of the earth's crust on the example of the Northern Tien Shan. *Trigger effects in geosystems: materials of the V International Conference / Ed. V.V. Adushkin, G.G. Kocharyan*. M.: TORUS PRESS. 2019. ISBN 978-5-94588-268-3. P.365-373.

[4] Zhantayev Zhu. Sha., K. E. Abdrakhmatov, G. Ya. Khachikyan. (2020). Research of solar-lithospheric relationships in North Tian Shan attracting paloseismic data. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. Vol. 1, N 439 (202). P. 138–145. ISSN 2224-5278. UDC 550.348. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.17>

[5] Khachikyan G.Ya., Zhumabaev B.T., Toyshiev N.S., Kaldybaev A., Nurakynov S. (2016). Variations in solar activity and the spatio-temporal distribution of strong earthquakes ($M \geq 7.0$) on the territory of Eurasia in 1973-2014. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of physical*. N 4 (2016) P. 40-45. ISSN 1991-346X.

[6] Aleksandrin, S.Yu., Galper A.M., Grishantzeva L.A., Koldashov S.V., Maslennikov L.V., Murashov A.M., Picozza P., Sgrigna V., Voronov S.A. (2003). High-energy charged particle bursts in near-Earth space as earthquake precursors. *Annales Geophysics*. Vol. 21. N 2 (2003). P. 597-602.

[7] Anagnostopoulos, G. C., Vassiliadis, and Pulnits, S. (2011). Characteristics of flux-time profiles, temporal evolution, and spatial distribution of radiation-belt electron precipitation bursts in the upper ionosphere before great and giant earthquakes, *Annales of Geophysics*. Vol. 55. Doi:10.4401/ag-5365- 2011.

[8] Zhang, X., Fidani, C., Huang, J., Shen, X., Zeren, Z., and Qian, J. (2013). Burst increases of precipitating electrons recorded by the DEMETER satellite before strong earthquakes. *Natural Hazards Earth System Science*. N 13 (2013). P. 197-209. Doi:10.5194/nhess-13-197-2013.

[9] Galper M.A. (1999). Earth radiation belt. *Soros Educational Journal*. N 6 (1999). www.edulmao.ru/var/db/files/3456.9906_075.pdf.

[10] McIlwain C.E. (1961). Coordinates for mapping the distribution of geomagnetically trapped particles. *Journal Geophysical Research*. Vol. 66. N 11 (1961) P. 3681–3691.

[11] Khachikyan G.Ya., Inchin A.S. (2010). Using a geocentric solar-magnetosphere coordinate system to study the earth's seismicity. *Applied space research in Kazakhstan*. N 6 (2010). P. 143-149.

[12] Tsyganenko N.A (2008). Geopack: A Set of Fortran Subroutines for Computations of the Geomagnetic Field in the Earth's Magnetosphere. <http://geo.phys.spbu.ru/~tsyganenko/Geopack2008>.

[13] Baker D.N., Kanekal S.G., Horne R.B., Meredith N. P., Glauert S.A., (2007). Low-altitude measurements of 2–6 MeV electron trapping lifetimes at $1.5 \leq L \leq 2.5$. *Geophysical Research Letters*. Vol. 34. N 20 (2007). <https://doi.org/10.1029/2007GL031007>.

[14] Thome R. M., W. Li, B. Ni, Q. Ma, J. Bortnik, D. N. Baker, H. E. Spence, G. D. Reeves, M. G. Henderson, C. A. Kletzing, W. S. Kurth, G. B. Hospodarsky, D. Turner, and V. Angelopoulos (2013). Evolution and slow decay of an unusual narrow ring of relativistic electrons near $L \sim 3.2$ following the September 2012 magnetic storm. *Geophysical Research Letters*. Vol. 40. P. 3507–3511. Doi:10.1002/grl.50627.

[15] Li X., D. N. Baker, H. Zhao, K. Zhang, A. N. Jaynes, Q. Schiller, S. G. Kanekal, J. B. Blake, M. Temerin (2017). Radiation belt electron dynamics at low L (<4): Van Allen Probes era versus previous two solar cycles. *Journal Geophysical Research*. Vol.122. Doi:10.1002/2017JA023924.

[16] Claudepierre S. G., Reeves G.D., O'Brien T. P., Fennell J. F., Blake J. B., Clemmons J. H., Looper M. D., Mazur J. E., Roeder J. L., Turner D. L. (2017). The hidden dynamics of relativistic electrons (0.7-1.5 MeV) in the inner zone and slot region. *Journal Geophysical Research. Space Physics*. Vol. 122. Doi:10.1002/2016JA023719.

[17] Baker D. N., Erickson P. J., Fennell J. F., Foster J. C., Jaynes A. N., Verronen P. T. (2018). Space Weather Effects in the Earth's Radiation Belts. *Space Science Reviews*. 2018. 60 p. Doi 10.1007/s11214-017-0452-7.

[18] Blake, J. B., Kolasinski, W. A., Fillius, R. W., Mullen, E. G. (1992). Injection of electrons and protons with energies of tens of MeV into $L < 3$ on 24 March 1991. *Geophysical Research Letters*. Vol. 19. N 8 (1992). P. 821–824. <https://doi.org/10.1029/92gl00624>

[19] Khachikyan G.Ya. (2019). Observed response of Earth's lithosphere to solar wind and radiation belt variations. The Tenth Moscow Solar System Symposium (10M-S³). IKI RAS. Moscow. Russia. October 7-11, 2019. Book of Abstracts. 10MS3-PS-92. P. 474-475. <https://ms2019.cosmos.ru/docs/10m-s3-abstract-book.pdf>