

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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 302 (2015), 71 – 78

**SEISMO-IONOSPHERIC RELATIONSHIPS:
VARIATIONS IN ELECTRON TEMPERATURE AND
ELECTRON DENSITY MEASURE BY THE DEMETER SATELLITE****G. Ya. Khachikyan¹, A. S. Kim¹, A. S. Inchin², A. Lozbin²**¹Institute of Ionosphere, JSC «NCSRT», Almaty, Kazakhstan,²Institute of space technics and technology JSC «NCSRT», Almaty, Kazakhstan.

E-mail: galina.khachikyan@gmail.com

Key words: earthquake, ionosphere, electron density, electron temperature.

Abstract. According to the satellite DEMETER, the variations of electron temperature and electron density of the ionosphere above the main peak due to a strong earthquake ($M = 7.7$) occurred on July 5, 2008 in the Sea of Okhotsk have been performed. The DEMETER was flying over the area of the epicenter of the June 22, 2008 (13 days before the event), July 5, 2008 (after ~ 9 hours the seismic shock), and 18 July 2008 (13 days after the event). Over the area of the epicenter, the satellite moved along ascending part of the orbits from the southeast to the northwest for about 8 minutes at almost the same interval of the universal time (~ 11 h.10 min. to about 11h.18 min.). Local time along this part of orbit was changed from 21h 39 min to 20 h 44 min. The percentage change in the electron temperature and the electron density on July 5 with respect to June 22 was estimated along orbit. These results are consistent with the predictions of the mathematical model (Kuo CL, Huba JD, Joyce G., LC Lee, J. Geophys. Res., 2011, V.116, A10317), and show that on the day of the earthquake on July 5, the electron temperature was lowered by compared to June 22 on the east side of the projection of the epicenter at the height of the satellite orbit, but it raised on the west. The electron density, on the contrary, was raised on the east side, but reduced to the west.

УДК 550.348

**СЕЙСМО-ИОНОСФЕРНЫЕ СВЯЗИ:
ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И
ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО ДАННЫМ ИСЗ DEMETER****Г. Я. Хачикян¹, А. С. Ким¹, А.С. Инчин², А. Лозбин²**¹ДТОО «Институт ионосферы», АО «НЦКИТ», Алматы, Казахстан,²ДТОО «Институт космической техники и технологий», АО «НЦКИТ», Алматы, Казахстан**Ключевые слова:** землетрясение, ионосфера, электронная концентрация, электронная температура.

Аннотация. По данным спутника DEMETER проанализированы вариации электронной температуры и электронной концентрации выше главного максимума ионосферы в связи с сильным землетрясением ($M=7.7$), произошедшим 5 июля 2008 г. в Охотском море. Спутник пролетал над районом эпицентра 22 июня 2008 г. (за 13 дней до события), 5 июля 2008 г. (спустя ~ 9 часов после сейсмического толчка), и 18 июля 2008 г. (через 13 дней после события). Над районом эпицентра спутник двигался на восходящих витках орбиты с юго-востока на северо-запад в течение примерно 8 минут, практически в один и тот же промежуток мирового времени (с ~ 11 ч 10 мин до ~ 11 ч 18 мин). Местное время вдоль участка трассы изменялось от 21 ч 39 мин до 20 ч 44 мин. Рассчитано процентное изменение электронной температуры и электронной концентрации вдоль трассы пролета 5 июля относительно 22 июня. Полученные результаты согласуются с

предсказаниями математической модели (Kuo C.L., Huba J.D., Joyce G., L.C Lee, J. Geophys. Res., 2011, V.116, A10317) и показывают, что в день землетрясения 5 июля электронная температура была понижена по сравнению с 22 июня с восточной стороны от проекции эпицентра на высоту орбиты спутника, и повышена с западной, а электронная концентрация, наоборот, была повышена с восточной стороны, но понижена с западной.

Введение. Изучение сейсмо-ионосферных связей проводится уже более 50 лет – со времени землетрясения на Аляске в 1964 г., когда впервые был обнаружен отклик ионосферных параметров на разрушительный процесс в земной коре [1]. Вместе с тем, общепринятого теоретического механизма, ответственного за такую связь, пока не существует, хотя в гипотезах–претендентах на такой механизм недостатка нет. Например, в [2] предложена «резонансная» модель электромагнитной связи, которая предполагает, что передача энергии из литосферы в ионосферу происходит через нагрев E-области ионосферы при возбуждении гипотетического резонатора в системе литосфера–ионосфера. В другой гипотезе [3] предполагают, что связь ионосферных возмущений с литосферными процессами осуществляется посредством серии импульсов электромагнитного поля с характерными временами $\tau = 0.1 \div 1$ с. После обнаружения спутниками эффекта возбуждения аномального ОНЧ-излучения над областями землетрясений, была предложена гипотеза [4], согласно которой при смещении и разрушении блоков земной коры вдоль активных разломов в окрестности очага готовящегося землетрясения генерируется широкополосное электромагнитное излучение. Это излучение проходит через земную среду, атмосферу и ионосферу, трансформируется по спектру, в результате взаимодействия с заряженными частицами околоземной плазмы, и приводит к возбуждению в плазме верхней атмосферы и магнитосфере альфвеновских волн в диапазоне частот $0.3 \div 10$ Гц, где зона возбуждения имеет размер $100 \div 150$ км. Также, рассматривается «акустико-электрическая» гипотеза [5], согласно которой акустические импульсы, распространяющиеся от области подготовки землетрясения до ионосферных высот, генерируют электрические токи в спорадических слоях.

В работе [6] предполагается, что в области подготовки землетрясения происходит импульсное выделение радона и возникают локальные генераторы и мини-токовые системы, что приводит, с одной стороны, к всплескам инфракрасного излучения и, с другой стороны, к передаче соответствующих возмущений вверх, в ионосферу. На базе экспериментального факта - эманации литосферных газов в приземную атмосферу на стадии подготовки землетрясения, разрабатывается гипотеза [7] в которой полагают, что в результате выхода литосферных газов в приземную атмосферу, могут генерироваться внутренние гравитационные волны (ВГВ), которые распространяются через атмосферу и, доходя до ионосферных высот, приводят к возмущению ионосферы, благодаря столкновениям ионов с нейтралами. Согласно [7], могут существовать, по меньшей мере, три механизма генерации ВГВ в сейсмически активных регионах, связанные с 1) "поршневым" движением земной коры, имеющей блоковую структуру; 2) нестабильными тепловыми аномалиями, вызванными выходом газов в атмосферу в разломных зонах земной коры; 3) нестабильным поступлением массы литосферных газов в атмосферу. В последние годы идея возмущения нейтральной атмосферы и ионосферы, основанная на выходе литосферных газов в приземную атмосферу, получила значительное развитие, но с несколько иной точки зрения. Эта новая точка зрения заключается в предположении, что эманация литосферных газов может привести к росту ионизации в приповерхностном атмосферном слое, что приведет к росту проводимости и, следовательно, к росту вертикального тока между земной поверхностью и ионосферой. В настоящее время эта точка зрения активно развивается разными авторами [8-18], причем с учетом новой парадигмы, полагающей, что землетрясение является элементом глобальной электрической цепи (ГЭЦ), поскольку предположение о росте вертикального электрического тока между земной поверхностью и ионосферой автоматически предполагает замыкание и функционирование ГЭЦ [19, 20].

В основе электродинамических моделей [8-18] лежит предположение, что изменение околоземной космической плазмы обусловлено возмущением электрического поля на этих высотах за счет изменения тока проводимости в замкнутой атмосферно-ионосферной электрической цепи, что, в свою очередь, обусловлено генерацией приземного вертикального электрического поля над районом подготовки землетрясения. Моделирование процесса возникновения вертикального

электрического поля над районом подготовки землетрясения и его проникновения на высоты ионосферы проведено в [16]. При этом использованы современные знания [21], что при деформации кристаллической решетки горной породы в ней появляются положительные проводники зарядов (положительные дырки). По мере того, как возрастает напряжение в горной породе, в ней активизируются дырочные проводники зарядов и генерируются электрические токи, что приводит к аккумуляции положительных зарядов на земной поверхности, образованию вертикального электрического поля и направленного вверх электрического тока. Расчеты [16] показали, что величина плотности тока является наиболее важным параметром для развития возмущений в ионосфере вдоль протяженности всей магнитной силовой линии (трубки), содержащей эпицентр будущего землетрясения. На центральной высоте динамо-области, равной примерно 85 км, электрическое поле величиной ~ 1 мВ/м, может быть создано плотностью корового тока порядка $1.4 \mu\text{A}/\text{m}^2$ в условиях дневной проводимости и порядка $0.1 \mu\text{A}/\text{m}^2$ в условиях ночной проводимости. Проникающее снизу в ионосферу электрическое поле вызывает перенос плазмы $[\mathbf{E} \times \mathbf{V}]$ дрейф, направленный перпендикулярно вектору магнитного и электрического поля со скоростью $V = E\mathbf{B}/B^2$, что приводит в итоге к вариациям электронной концентрации, электронной температуры и полного электронного содержания ионосферы. Результаты моделирования [16] над областью напряженной геологической среды длиной 200 км в направлении север-юг и шириной 30 км в направлении восток-запад показали, что выше главного максимума ионосферы (250–350 км), $[\mathbf{E} \times \mathbf{V}]$ дрейф приводит к увеличению электронной концентрации с восточной стороны от точки-проекции эпицентра на эти высоты вдоль магнитной силовой линии, но уменьшению электронной концентрации с западной стороны. Для электронной температуры ситуация противоположная, температура повышается с западной стороны, но понижается с восточной. Ниже максимума ионосферы – ситуация для электронной концентрации и электронной температуры будет противоположной той, что имеет место выше ионосферного максимума. В данной статье проверяются результаты этих модельных расчетов по данным спутника DEMETER для случая сильного землетрясения ($M=7.7$), произошедшего в Охотском море 5 июля 2008 г.

Метод исследования. Спутник DEMETER работал с 2004 по 2010 гг. и измерения его приборов были нацелены специально на изучение эффектов литосферно-ионосферных связей. Измерения электронной температуры (T_e) и электронной концентрации (N_e) проводились вдоль трассы полета спутника с интервалом 1 секунда. Очевидно, что изменения N_e и T_e , обусловленные сейсмогенным электрическим полем, будут накладываться на естественные пространственно-временные вариации этих параметров обусловленные, в первую очередь, пространственно-временными вариациями поступающего ультрафиолетового излучения Солнца. Поэтому представляется, что тестирование результатов математического моделирования [16] будет более продуктивным для условий, когда поток ультрафиолетовых лучей отсутствует. Анализ базы данных спутника показал, что одним из удачных событий для такого тестирования может быть сильное землетрясение ($M=7.7$), произошедшее в Охотском море 5 июля 2008 г. в 02:12:04 UT с координатами эпицентра 53.882°N , 152.886°E (рисунок 1).

DEMETER пролетал вблизи эпицентра землетрясения в вечернее время (после 21 часа местного времени) на восходящих витках орбиты. Трасса спутника проходила в наибольшей близости к району эпицентра 22 июня 2008 г (за 13 дней до события), 5 июля 2008 г (спустя ~ 9 часов после сейсмического толчка), и 18 июля 2008 г (через 13 дней после события). На рисунке 2 показаны трассы пролета спутника для этих трех дней. Место положения эпицентра на земной поверхности обозначено кружком, номер магнитной силовой линии, проходящей через эпицентр равен $L=2.2$. Проекция эпицентра вдоль магнитной силовой линии $L=2.2$ на высоту спутника $h = 665$ км обозначена звездочкой. Номер геомагнитной силовой линии, проходящей через эпицентр, и координаты проекции эпицентра на высоту 665 км (51.3°N , 153.4°E) были определены с помощью компьютерных кодов программы GEOPACK [22]. Движение спутника вдоль указанных трасс происходило с юго-востока на северо-запад в течение примерно 8 минут, практически в один и тот же промежуток мирового времени (с ~ 11 ч 10 мин до ~ 11 ч 18 мин). Местное время вдоль этого участка трассы изменялось от 21 ч 39 мин до 20 ч 44 мин.

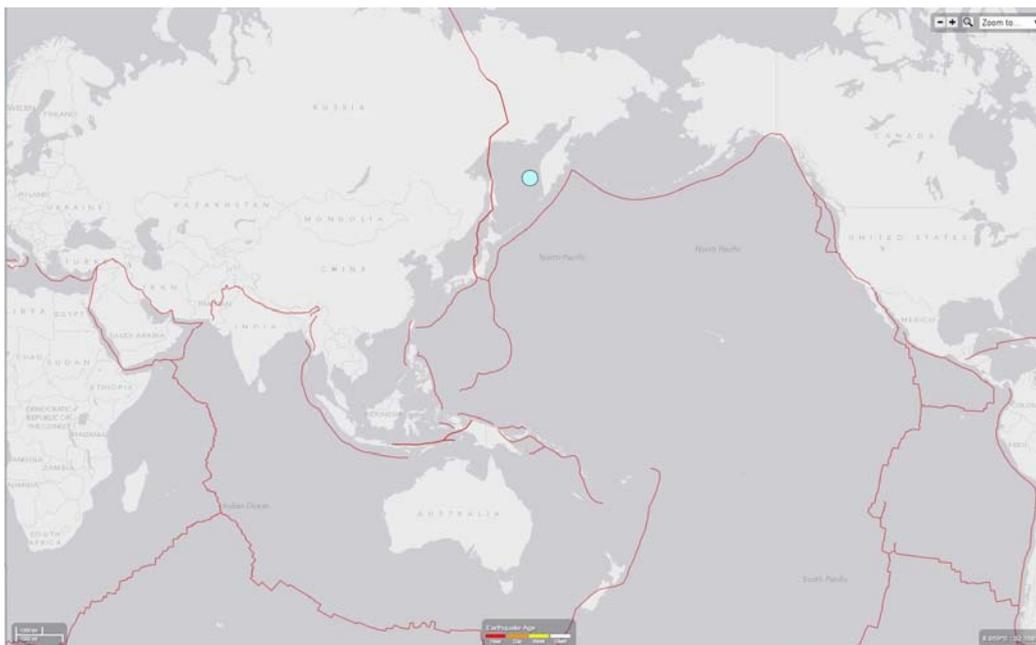
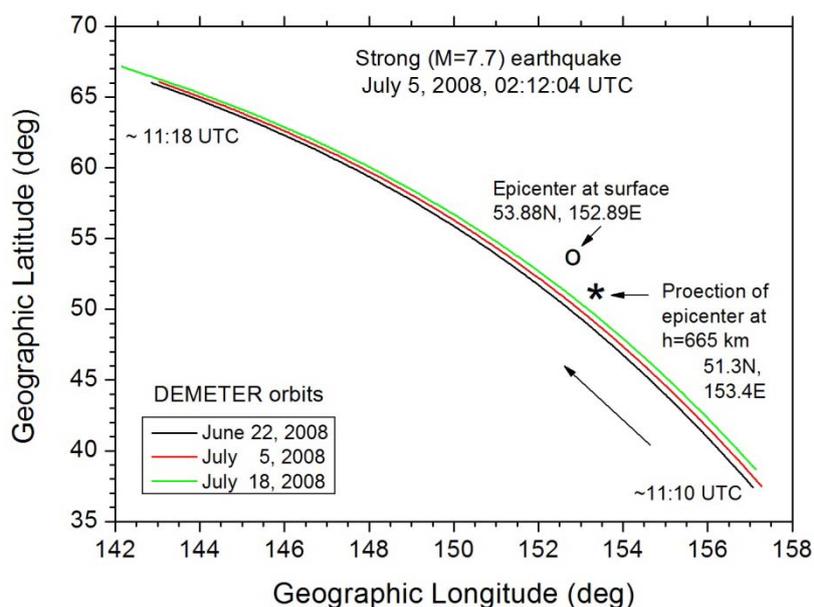


Рисунок 1 – Месторасположения землетрясения с магнитудой $M=7.7$ (зеленый кружок), произошедшего 5 июля 2008 г. в 02:12:04 UT с координатами эпицентра $53.882^{\circ}N$, $152.886^{\circ}E$.



Обозначения: круг – эпицентр землетрясения на земной поверхности, звездочка – проекция эпицентра на высоту 665 км.

Рисунок 2 – Трассы спутника DEMETER 22 июня, 5 и 18 июля 2008 г. вблизи эпицентра землетрясения с магнитудой $M=7.7$ (кружок), произошедшего 5 июля 2008 г.

Результаты исследования. Высота орбиты спутника составляла ~ 665 км, что выше максимума ионосферного слоя. Данные спутника для трех пролетов показали, что вариации электронной температуры и концентрации вдоль данного участка трассы были достаточно схожи для 22 июня и 18 июля, но отличались для 5 июля. В соответствии с результатами модельных расчетов [16], в день землетрясения (5 июля) должно наблюдаться понижение электронной температуры относительно 22 июня с восточной стороны от проекции эпицентра на высоту орбиты спутника, и повышение – с западной стороны. Для электронной концентрации ситуация должна быть

обратной – повышение с восточной стороны и понижение – с западной. Чтобы проверить результаты модельных расчетов, для значений Te и Ne , измеренных вдоль трассы полета спутника, была подсчитана относительная разница (в процентах) между 5 июля 2008 г. (день землетрясения) и 22 июня 2008 г. (день наиболее близкого пролета спутника к зоне эпицентра) по выражениям:

$$\Delta Te\% = [(Te_{5 \text{ июля}} - Te_{22 \text{ июня}}) / Te_{22 \text{ июня}}] \times 100\% ,$$

$$\Delta Ne\% = [(Ne_{5 \text{ июля}} - Ne_{22 \text{ июня}}) / Ne_{22 \text{ июня}}] \times 100\% .$$

На рисунке 3 показаны вариации $\Delta Te\%$ (верхняя панель) и $\Delta Ne\%$ (нижняя панель) вдоль данного участка трассы. Вертикальные красные линии отмечают проекцию эпицентра землетрясения вдоль геомагнитной силовой линии на высоту орбиты спутника 665 км. Напомним, что координаты проекции составляют: $51.3^{\circ}N$, $153.4^{\circ}E$, в то время как координаты эпицентра равны:

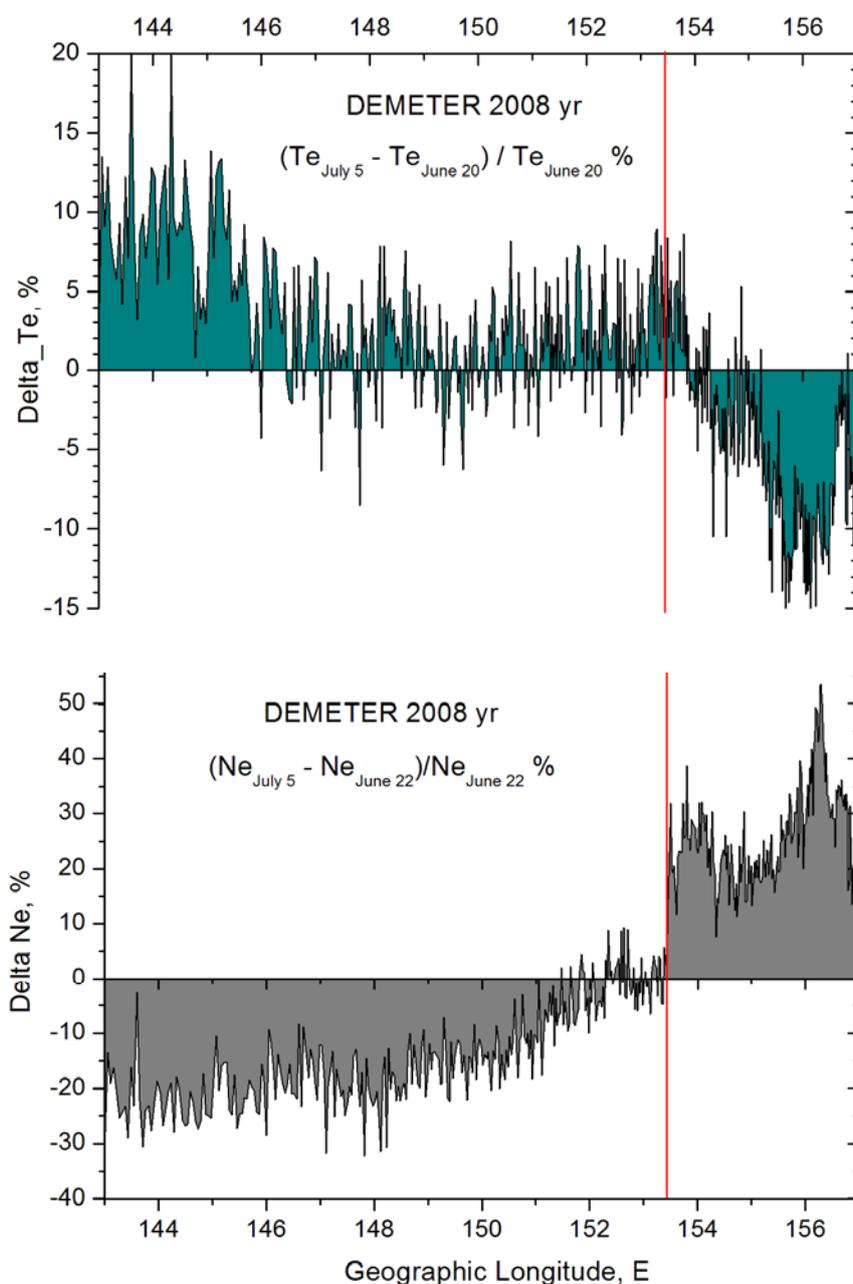


Рисунок 3 – Долготные вариации разницы (в процентах) электронной температуры (верхняя панель) и электронной концентрации (нижняя панель) по данным спутника ДЕМЕТЕР 5 июля и 22 июня 2008 г. Вертикальные линии маркируют долготу проекции эпицентра землетрясения с $M = 7.7$ на высоту полета спутника 665 км

53.882⁰N, 152.886⁰E. Расхождение координат обусловлено тем, что эпицентр проецируется на высоту орбиты спутника вдоль геомагнитных силовых линий, наклоненных к земной поверхности на угол геомагнитного наклоения. Из рисунка 3 видно, что в день землетрясения 5 июля 2008 г, электронная температура (верхняя панель) была понижена с восточной стороны от эпицентра и повышена с западной, а электронная концентрация (нижняя панель), наоборот, была повышена с восточной стороны, но понижена с западной. В среднем, изменения для электронной температуры составили примерно 7-10%, и изменения в электронной концентрации находились в пределах 25-30%.

Обсуждение результатов. Результаты математического моделирования связи в системе литосфера-ионосфера [16, и ссылки внутри], предсказывают, что при возрастании напряжения в геологической среде, активизируются дырочные проводники зарядов и генерируются электрические токи, что приводит к аккумуляции положительных электрических зарядов на земной поверхности, образованию вертикального электрического поля и вертикального тока, обеспечивающих появление электрического поля в ионосфере, которое вызывает перенос ионосферной плазмы [ExB] дрейф, направленный перпендикулярно к вектору магнитного и электрического полей. Дрейф ионосферной плазмы порождает разные эффекты выше и ниже высоты главного максимума ионосферного слоя. В частности, выше максимума ионосферного слоя ожидается увеличение (уменьшение) электронной концентрации восточнее (западнее) проекции эпицентра на ионосферные высоты, а электронная температура будет возрастать в магнитной силовой трубке, расположенной западнее проекции эпицентра на ионосферные высоты, но уменьшаться в магнитной силовой трубке, расположенной восточнее проекции эпицентра на ионосферные высоты.

Результаты моделирования [16] были протестированы по данным спутника DEMETER, орбита которого привязана к высоте ~665 км, что выше главного максимума ионосферы. Исследовались пространственные изменения электронной температуры и концентрации в связи с сильным землетрясением ($M = 7.7$), произошедшим в Охотском море 5 июля 2008 г. Результаты измерений подтвердили модельные расчеты, показав, что в день землетрясения 5 июля (спустя примерно 9 часов после основного толчка) электронная температура была понижена по сравнению с 22 июня с восточной стороны от проекции эпицентра на высоту орбиты спутника, и повышена с западной стороны, а электронная концентрация, наоборот, была повышена с восточной стороны, но понижена с западной. В среднем, изменения в значениях электронной температуры составили примерно 7–10%, а изменения в электронной концентрации находились в пределах 25–30%, что также согласуется с предсказаниями модели [16].

Вывод. Результаты измерения спутником DEMETER электронной температуры и электронной концентрации вблизи эпицентра сильного ($M=7.7$) землетрясения, произошедшего 5 июля 2008 г. в Охотском море, подтвердили предсказания математической модели [16], показав, что в день землетрясения электронная температура была понижена с восточной стороны от проекции эпицентра на высоту орбиты спутника, и повышена с западной, а электронная концентрация, наоборот, была повышена с восточной стороны, но понижена с западной; в среднем, изменения электронной температуры составили ~7-10%, а электронной концентрации ~ 25-30%, что согласуется с предсказаниями модели.

Работа выполнена по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» в рамках темы «Математическое моделирование очаговых зон и литосферно-ионосферных связей с использованием геоинформационных спутниковых технологий» (Грант 0079/ГФ4, Регистрационный номер (РН) 0115РК00398).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Davies K., and Baker D., Ionospheric effects observed around the time of the Alaska earthquake of March, J. Geophys. Res, 1964, 70 (9), P. 2251-2253.
- [2] Гохберг М.Б., Булошников А.М., Гуфельд И.Л., Липеровский В.А. Резонансные явления при сейсмоионосферном взаимодействии, Изв. АН СССР, Физика Земли, 1985, № 6, С. 5–8.
- [3] Колоколов Л.Е., Липеровская Е.В., Липеровский В.А. и др. Резкие расплывания спорадических слоев E среднеширотной ионосферы в периоды подготовки землетрясений, Изв. АН СССР, Физика Земли, 1992, № 7, С. 101–109.
- [4] Молчанов О.А. Прохождение электромагнитных полей от сейсмических источников в верхнюю ионосферу Земли, Геомагнетизм и аэрномия, 1991, Т, 31, № 1, С. 111–119.

- [5] Липеровский В.А. Физические модели связи в системе литосфера–атмосфера–ионосфера, Лекции байкальской школы по фундаментальной физике (БШФФ-2006), С.58–65, bsfp.iszf.irk.ru/bsfp2006/proceed2006/58-65.pdf
- [6] Liperovsky, V.A., Meister, C.-V., Liperovskaya E.V., et al. On Es-spread effects in the ionosphere before earthquakes, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2005, V. 5, P. 1–4.
- [7] Гохберг М. Б., С. Л. Шалимов Литосферно-ионосферная связь и ее моделирование, *Российский журнал наук о Земле*, 2000, Том 2, № 2, Апрель 2000, elpub.wdcb.ru/journals/rjes/rus/v02/rje00032/rje00032.htm.
- [8] Pulinets S.A., Alekseev V.A., Legen'ka A.D., Hegai V.V. Radon and metallic aerosols emanation before strong earthquakes and their role in atmosphere and ionosphere modification, *Adv. Space Res.*, 1997, V. 20, № 11, P. 2173–2176.
- [9] Sorokin V.M., and Chmyrev V. M., The physical model of electromagnetic and plasma response of the ionosphere on the pre-earthquake processes, in: *Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes*, Ed. M. Hayakawa, Terra Sci. Publ., Co., Tokyo, 1999, P. 819-828.
- [10] Sorokin V.M., Chmyrev V.M. Modification of the Ionosphere by Seismic Related Electric Field, *Seismo-Electromagnetics*, Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1998, P. 805–818.
- [11] Sorokin V.M., Chmyrev V.M., Yaschenko A.K. Theoretical model of DC electric field formation in the ionosphere stimulated by seismic activity, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2005, 67, P.1259-1268.
- [12] Sorokin V.M., Yaschenko A.K., Hayakawa M. A perturbation of DC electric field caused by light ion adhesion to aerosols during the growth in seismic-related atmospheric radioactivity, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2007, V.7, P.155-163.
- [13] Pulinets S.A. Natural radioactivity, Earthquakes, and the Ionosphere, *EOS, Transactions, AGU*, 2007, V 88, No 20, P.217-218.
- [14] Pulinets S.A., Physical mechanism of the vertical electric field generation over active tectonic faults, *Advances Space Research*. – 2009, V.44, P. 767-773.
- [15] Harrison, R. G., Aplin, K. and Rycroft, M. Atmospheric electricity coupling between earthquake regions and the ionosphere, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2010, 72 (5-6), P.376-381 .
- [16] Kuo C. L., Huba J. D., Joyce G., Lee L. C. Ionosphere plasma bubbles and density variations induced by pre-earthquake rock currents and associated surface charges, *J. Geophys. Res.* -2011, V.116, A10317, doi:10.1029/2011JA016628.
- [17] Karpov M.I., Zolotov O.V., Namgaladze A.A. Modeling of the ionosphere response on the earthquake preparation, *Proceedings of the MSTU*, 2012, V. 15, 2, P. 471-476.
- [18] Harrison R. G., K. L. Aplin, and M. J. Rycroft. Earthquake–cloud coupling through the global atmospheric electric circuit, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2014, P. 773–777, doi:10.5194/nhess-14-773-2014. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/773/2014/.
- [19] Bering E.A., A.A. Few, and J.R. Benbrook The Global Electric Circuit, *Physics Today*, October, 1998, P. 24-30.
- [20] Markson R. Solar modulation of atmospheric electrification and possible implications for the Sun-weather relationship, *Nature*, 1978, V.273, P. 103-109.
- [21] Freund F. Toward a unified solid state theory for pre-earthquake signals, *Acta Geophys*, 2010, V.58, P. 719–766.
- [22] Tsyganenko N.A., 2008. Geopack: A Set of Fortran Subroutines for Computations of the Geomagnetic Field in the Earth's Magnetosphere. Available from: <http://geo.phys.spbu.ru/~tsyganenko/Geopack-2008.html>.

REFERENCES

- [1] Davies K., and Baker D., Ionospheric effects observed around the time of the Alaska earthquake of March, *J. Geophys. Res.*, 1964, 70 (9), P. 2251-2253.
- [2] Gochberg M.B., Buloshnikov A.M., Gufeld I.L., V.A. Liperovsky. Resonant phenomena at seismoionospheric interaction, *Math. USSR Academy of Sciences, Physics of the Earth*, 1985, № 6, P. 5-8.
- [3] Bells L.E., Liperovskaya E.V., Liperovsky V.A., et al. Sudden blurring of sporadic E layer of the ionosphere in the middle-period earthquake preparation, *Math. USSR Academy of Sciences, Physics of the Earth*, 1992, № 7, P. 101-109.
- [4] Molchanov O.A. Passage of electromagnetic fields from seismic sources in the Earth's upper ionosphere, *Geomagn.*, 1991, T, 31, № 1, P. 111-119.
- [5] Liperovsky V.A. Physical models of communication in the lithosphere-atmosphere-ionosphere. Lectures Baikol School on Fundamental Physics (BSFP 2006) S.58-65, bsfp.iszf.irk.ru/bsfp2006/proceed2006/58-65.pdf
- [6] Liperovsky V.A., Meister, C.V., Liperovskaya E.V., et al. On Es-spread effects in the ionosphere before earthquakes, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2005, V. 5, P. 1–4.
- [7] Gochberg M.B., S.L. Shalimov. Lithosphere-ionosphere relationship and its modeling, *Russian Journal of Earth Sciences*, 2000, Volume 2, № 2, April 2000. elpub.wdcb.ru/journals/rjes/rus/v02/rje00032/rje00032.htm.
- [8] Pulinets S.A., Alekseev V.A., Legen'ka A.D., Hegai V.V. Radon and metallic aerosols emanation before strong earthquakes and their role in atmosphere and ionosphere modification, *Adv. Space Res.*, 1997, V. 20, № 11, P. 2173–2176.
- [9] Sorokin V.M., and Chmyrev V. M., The physical model of electromagnetic and plasma response of the ionosphere on the pre-earthquake processes, in: *Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes*, Ed. M. Hayakawa, Terra Sci. Publ., Co., Tokyo, 1999, P. 819-828.
- [10] Sorokin V.M., Chmyrev V.M. Modification of the Ionosphere by Seismic Related Electric Field, *Seismo-Electromagnetics*, Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1998, P. 805–818.
- [11] Sorokin V.M., Chmyrev V.M., Yaschenko A.K. Theoretical model of DC electric field formation in the ionosphere stimulated by seismic activity, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2005, 67, P.1259-1268.
- [12] Sorokin V.M., Yaschenko A.K., Hayakawa M. A perturbation of DC electric field caused by light ion adhesion to aerosols during the growth in seismic-related atmospheric radioactivity, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2007, V.7, P.155-163.

- [13] Pulinets S.A. Natural radioactivity, Earthquakes, and the Ionosphere, EOS, Transactions, AGU, 2007, V 88, No 20, P.217-218.
- [14] Pulinets S.A., Physical mechanism of the vertical electric field generation over active tectonic faults, Advances Space Research. – 2009, V.44, P. 767-773.
- [15] Harrison, R. G., Aplin, K. and Rycroft, M. Atmospheric electricity coupling between earthquake regions and the ionosphere, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2010, 72 (5-6), P.376-381 .
- [16] Kuo C. L., Huba J. D., Joyce G., Lee L. C. Ionosphere plasma bubbles and density variations induced by pre-earthquake rock currents and associated surface charges, *J. Geophys. Res.* -2011, V.116, A10317, doi:10.1029/2011JA016628.
- [17] Karpov M.I., Zolotov O.V., Namgaladze A.A. Modeling of the ionosphere response on the earthquake preparation, Proceedings of the MSTU, 2012, V. 15, 2, P. 471-476.
- [18] Harrison R. G., K. L. Aplin, and M. J. Rycroft. Earthquake–cloud coupling through the global atmospheric electric circuit, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2014, P. 773–777, doi:10.5194/nhess-14-773-2014. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/773/2014/
- [19] Bering E.A., A.A. Few, and J.R. Benbrook The Global Electric Circuit, *Physics Today*, October, 1998, P. 24-30.
- [20] Markson R. Solar modulation of atmospheric electrification and possible implications for the Sun-weather relationship, *Nature*, 1978, V.273, P. 103-109.
- [21] Freund F. Toward a unified solid state theory for pre-earthquake signals, *Acta Geophys*, 2010, V.58, P. 719–766.
- [22] Tsyganenko N.A., 2008. Geopack: A Set of Fortran Subroutines for Computations of the Geomagnetic Field in the Earth's Magnetosphere. Available from: <http://geo.phys.spbu.ru/~tsyganenko/Geopack-2008.html>.

**СЕЙСМО-ИОНОСФЕРАЛЫҚ БАЙЛАНЫС:
ДЕМЕТЕР ЖЖС ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ЭЛЕКТРОНДЫ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ
ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНДЫ КОНЦЕНТРАЦИЯСЫНЫҢ ВАРИАЦИЯСЫ**

Г. Я. Хачикян¹, А. С. Ким¹, А.С. Инчин², А. Лозбин²

¹ «Институт ионосферы» ЕЖШС, «ҰҒЗТО» АҚ, Алматы, Қазақстан,

² «Ғарыштық техника мен технологиялар институты», ЕЖШС, «ҰҒЗТО» АҚ, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: жер сілкінісі, ионосфера, электронды концентрация, электронды температура

Аннотация. Demeter ЖЖС деректері бойынша ионосфераның негізгі жоғары қабатының Охот теңізіндегі 2008 жылы 5 шілде күні орын алған күшті жер сілкінісімен ($M = 7.7$) байланысты электронды температура мен электронды концентрациясының вариациясы талданылды. Жасанды серік 2008 жылы 22 маусым, (оқиғаға дейін 13 күн), 2008 жылы 5 шілде, (сейсмикалық соқтығысудан кейін ~ 9 сағатта) және 2008 жылы 18 шілде (оқиғадан кейін 13 күн) күндері аталмыш аймақ эпицентрі үстінен ұшып өтті. Жасанды серік аталмыш аймақ эпицентрі үстінен шамамен 8 минут, әлемдік уақыттан дерлік бірдей аралықпен (~11 сағ. 10 минуттан 11сағ.18 минутқа дейін) оңтүстік-шығыстан солтүстік-батысқа қарай қозғалды. Бағыттың бөлімі бойымен жергілікті уақыт 20 сағ 44 мин-тан 21сағ 39 мин-қа дейін өзгерді. Ұшу бағыты бойынша 22 маусымнан 5 шілдеге қатысты электронды температура мен электронды концентрациясының өзгерісінің пайыздық мөлшері есептелінді. Алынған нәтижелер (Kuo C.L., Huba J.D., Joyce G., L.C Lee, J. Geophys. Res., 2011, V.116, A10317) математикалық моделінің болжауына сәйкес, 5 шілде жер сілкінісі күні 22 маусыммен салыстырғанда, электронды температурасының эпицентрінің проекциясына шығыс жағынан жерсерігінің орбитасының шығысына қарай төмендегені, ал батысқа қарай өсетіні көтерілген, және электронды концентрациясы керісінше, шығыс жағынан өсіп, батыс жағынан төмендеді.

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.