

**ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)**

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**

5 (315)

**ҚЫРКҮЙЕК – ҚАЗАН 2017 Ж.
СЕНТЯБРЬ – ОКТЯБРЬ 2017 Г.
SEPTEMBER – OCTOBER 2017**

**1963 ЖЫЛДЫН 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**

Бас редакторы
ф.-м.ғ.д., проф., КР ҮФА академигі **F.M. Мұтанов**

Редакция алқасы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев Ү.Ү. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жусіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошкаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Сұраған Ә. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорус)
Пашаев А. проф., академик (Әзірбайжан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«КР ҮФА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Үлттық ғылым академиясы» РКБ (Алматы қ.)
Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде
01.06.2006 ж. берілген №5543-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы қуәлік

Мерзімділігі: жылдана 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Қазақстан Республикасының Үлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК **Г.М. Мутанов**

Р е д а к ц и о н на я кол л е г и я:

Джумадильдаев А.С. проф., академик (Казахстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Казахстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умирбаев У.У. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Джумабаев Д.С. проф. (Казахстан)
Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Сураган Д. чл.-корр. (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Кыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Пашаев А. проф., академик (Азербайджан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

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, 2017

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

Editor in chief
doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK **G.M. Mutanov**

Editorial board:

Dzhumadildayev A.S. prof., academician (Kazakhstan)
Kalmenov T.Sh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhantayev Zh.Sh. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umirbayev U.U. prof. corr. member. (Kazakhstan)
Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)
Dzhumabayev D.S. prof. (Kazakhstan)
Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)
Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)
Suragan D. corr. member. (Kazakhstan)
Quevedo Hernando prof. (Mexico),
Dzhunushaliyev V.D. prof. (Kyrgyzstan)
Vishnevskyi I.N. prof., academician (Ukraine)
Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)
Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)
Pashayev A. prof., academician (Azerbaijan)
Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.
Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

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, 2017

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 5, Number 315 (2017), 26 – 34

UDC: 550.3; 550.36; 551.24

Zh.Sh. Zhantaev¹, A.V. Vilyayev¹, E.B. Serikbaeva¹

¹ National Center of Space Research and Technology, Institute
of Ionosphere, Republic of Kazakhstan, Almaty, Kamenskoe Plateau
vilayev@gmail.com

**THE APPLICATION OF GEOTHERMAL MODELING
IN THE ASSESSMENT OF THE FEATURES
OF THE SEISMIC REGIME OF THE NORTHERN TIEN SHAN**

Abstract. The effect of temperature distribution of the earth's crust on the formation of seismic activity on the example of the Northern Tien Shan is considered. Data on the parameters of the heat flow are generalized and systematized. The experimental material on the physical properties of rocks, direct determinations of the heat flow at the surface, and correlation relationships of geothermal parameters with seismic velocities were used. The distribution of heat-generating elements with depth is considered. Compiled 3D geothermal models. A comparative analysis of the model with manifestations of seismic activity was performed.

The three-dimensional equation of conductive heat transfer with initial and boundary conditions and with additional sources of radiogenic heat is solved by numerical methods.

Under the mountain structures of the Northern Tien Shan at depths of 35-60 km, areas of partial melting with rock temperatures at $100 \div 250$ °C above the solidus are identified. The field of thermoelastic deformations, reaching from 20 to 40% of the total lithostatic pressure, is calculated. Areas of the earth's crust are identified in which rocks are under conditions of thermal stresses exceeding their critical strength. A comparative analysis with manifestations of seismic activity of the territory was carried out. According to the morphology of the regions of anomalous temperatures and thermal stresses, the criteria controlling the distribution of hypocenters of earthquakes are determined. The strongest catastrophic earthquakes of the last century (Vernenskoye M = 7.1, Keminskoye M = 8.0) occurred in the regions of maximum influx of mantle heat.

A conclusion is made about the prevailing influence of temperature conditions on the development of the seismic process.

Key words: temperature, heat flow, thermal stress, earth crust, seismicity, mathematical modeling.

УДК: 550.3; 550.36; 551.24

Ж.Ш. Жантаев¹, А.В. Виляев¹, Э.Б. Серикбаева¹

¹Национальный центр космических исследований и технологий,
Институт ионосферы, Республика Казахстан, Алматы, Каменское плато

**Применение геотермического моделирования
в оценке особенностей сейсмического режима
Северного Тянь-Шаня**

Аннотация. Рассматривается воздействие неравномерного распределения температуры земных недр на формирование сейсмической активности на примере территории Северного Тянь-Шаня. Обобщены и систематизированы данные о параметрах теплового потока земной коры. Выяснены закономерности распре-

деления теплогенерирующих элементов с глубиной, составлены объемные 3D геотермические модели. Выполнен сравнительный анализ геотермической модели с проявлениями сейсмической активности.

Численными методами решено трехмерное уравнение кондуктивного теплопереноса с начальными и граничными условиями и с учетом дополнительных источников радиогенного тепла. Тепловой поток на поверхности определен по данным наземных измерений в скважинах. Привлечена информация о распределении в разрезе скорости продольных волн, зависимости коэффициента теплопроводности от петрологического состава горных пород, температуры и давления.

Под горными сооружениями Северного Тянь-Шаня на глубинах 35–60 км выделены области частичного плавления с температурами пород на 100–250 °C выше солидуса. По изотерме аномальных температур в 230 °C и изобаре термоупругих напряжений интенсивностью 0.35 ГПа оконтурена область температурных нагрузок, превышающих критическую прочность горных пород. Максимальные значения термонапряжений в аномальной области достигают 0.48 ГПа, что составляет 25–30% от литостатического давления. Наиболее сильные катастрофические землетрясения прошлого века (Верненское M=7.1, Кеминское M=8.0) произошли в областях максимального привноса мантийного тепла.

Делается вывод о преобладающем влиянии температурных условий на формирование сейсмического процесса.

Ключевые слова: температура, тепловой поток, термонапряжение, земная кора, сейсмичность, математическое моделирование.

Введение

Температурное поле в большой степени определяет физическое состояние материала литосферы Земли. Изучение теплового состояния земных недр особенно актуально для районов, где происходят интенсивные тектонические движения, сопровождаемые сильными и катастрофическими землетрясениями [1]. К таким районам относится Северный Тянь-Шань. Об этом свидетельствуют произошедшие здесь землетрясения: Верненское (Ms=7.1, 1887г.), Чиликское (Ms=8.1, 1889г.), Кеминское (Ms=8.0, 1911г.), Жаланашское (Ms=6.8, 1978г.), Байсорунское (Ms=5.9, 1990г.) и др. Цель работы заключалась в изучении распределения глубинного теплового поля земной коры Северного Тянь-Шаня для оценки сейсмической активности территории.

Метод и материалы исследований

Метод исследований состоял в численном моделировании температур земной коры на основе решения уравнений теплопередачи с привлечением экспериментальных теплофизических параметров – теплового потока, коэффициента теплопроводности, радиогенной теплогенерации. Выполнен сравнительный анализ параметров расчетной геотермической модели с распределением землетрясений территории.

Математическая модель. Основное уравнение стационарного кондуктивного переноса тепла для долговременных геологических процессов в гетерогенной анизотропной упругой среде записывается в виде [2]:

$$\nabla k \nabla T + k \nabla^2 T + A(x, y, z) = 0 \quad (1)$$

где k – теплопроводность горных пород в точке с координатами (x, y, z) , T – температура, $A(x, y, z)$ – радиоактивная генерация тепла в единичном объеме. Символом ∇ обозначен дифференциальный оператор Лапласа в трехмерном пространстве

$$\nabla = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) T \quad (2)$$

Коэффициент теплопроводности в точке (x, y, z) с учетом зависимости от температуры рассчитан нами для региона Северного Тянь-Шаня, как:

$$k = 0.01157 V_p^3 * (-0.9 + 0.00246 T + 343 T^{-1})^{-1} \quad (3)$$

где: V_p – скорость сейсмических волн (км/с), T – начальная температура в К°.

Радиогенное тепловыделение в земной коре за счет распада радиоактивных элементов ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th вычислено по эмпирическому соотношению между теплогенерацией A (мкВт/м³) и скоростью V_p (км/с) для земной коры Северного Тянь-Шаня:

$$A = 0.3125 * (10^{-5}) * \exp(1.61 * V_p) \quad (4)$$

Уравнение (1) с учетом (3,4) решено численным методом конечных разностей на сетке $41 \times 31 \times 20$ по схеме переменных направлений [3].

В качестве граничного условия теплообмена на поверхности задавался тепловой поток по измерениям в скважинах; среднегодовая температура земной поверхности 10°C на глубине 1 м по метеоданным. Начальное распределение температуры соответствовало линейному геотермическому градиенту. Боковые граничные условия состояли в равенстве нулю теплового потока через вертикальные границы модели. На нижней границе моделируемой области задавалась мантийная составляющая теплового потока, определяемая как разность потока на поверхности и радиогенной составляющей от распада U , Th , K -содержащих пород, а также постоянная температура, в предположении о наличии на глубине 120 км области горных пород, разогретых до температуры солидуса (1370°C).

Для расчета действующих термонапряжений в земной коре применена рабочая формула [5]

$$\tau_{zz} = \rho g z + 3\beta K (T - T_0) \quad (5)$$

где 3β - объемный коэффициент термического расширения пород, K – модуль объемной упругости, ρ – плотность, g – ускорение силы тяжести, $(T - T_0)$ – температурное отклонение от начального линейного распределения. Произведение $3\beta K(T - T_0)$ обозначает термонапряжения, вызванные сочетанием нелинейного изменения температуры. Модуль объемной упругости K рассчитан по отношению скоростей продольных и поперечных волн в условиях естественного залегания горных пород:

$$K = \rho(V_p^2 - 4/3 V_s^2) \quad (6)$$

где для горных пород Северного Тянь-Шаня $V_p/V_s = 2.04$.

Плотность горных пород определена в каждом узле сеточной модели по закону линейной аппроксимации:

$$\rho = (0.315V_p + 0.74)*10^3 \quad (7)$$

С учетом сферичности поверхности и значительных пространственных размеров модели уравнение (1) решалось в сферических координатах относительно центра Земли:

$$\nabla T = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} \quad (8)$$

3. Обсуждение результатов

Теплофизическая модель. В геологическом отношении регион входит в альпийский неотектонический пояс и включает вытянутые в широтном направлении горные хребты Кунгей и Заилийский Ала-Тау разделенные межгорными впадинами [4]. С востока район ограничен отрогами горных хребтов Джунгарского Ала-Тау, с запада – восточным окончанием Чу-Илийских гор. В земной коре по геофизическим данным выделяются осадочный, гранитный (верхний и нижний) и базальтовый слои. Мощность земной коры изменяется от 42 км до 55-60 км, увеличиваясь в юго-восточном направлении в сторону горных сооружений Тянь-Шаня и Джунгарии.

Структура поля сейсмических скоростей. Исходной экспериментальной базой глубинного строения земной коры послужили данные о скорости продольных волн до глубины 100 км в пределах территории с координатами $42^{\circ}\text{-}45^{\circ}\text{N}$ и $75^{\circ}\text{-}80^{\circ}\text{E}$ по данным методов ГСЗ, ГСЗ-МОВЗ [6-8] (рис. 1).

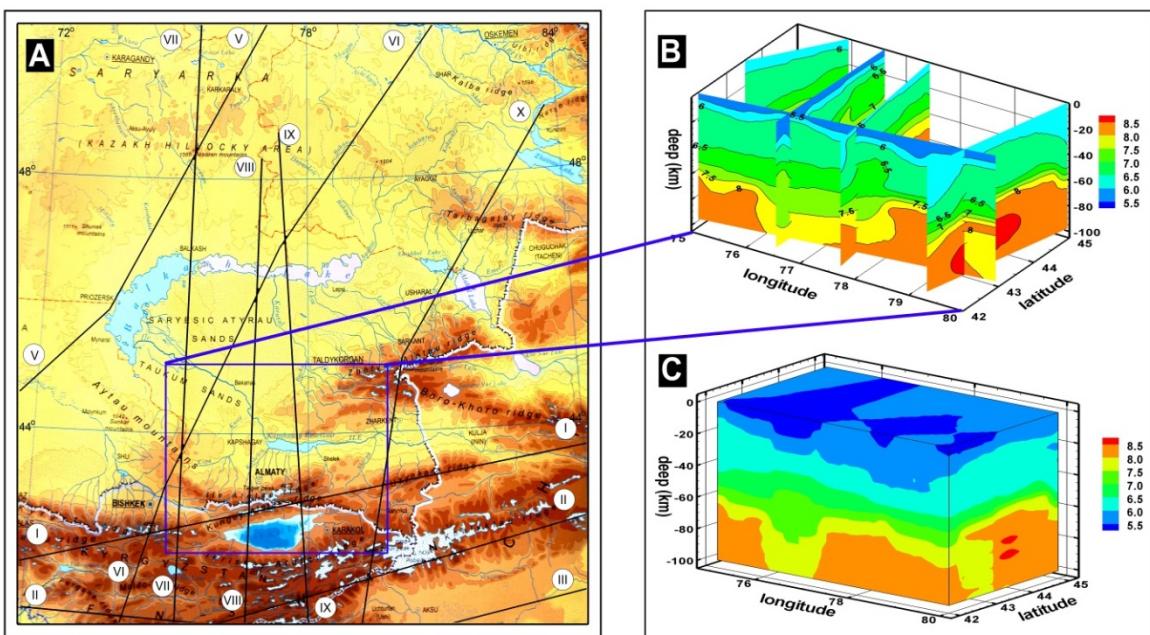


Рисунок 1 – Система геотраверсов Р-скоростного моделирования литосферы: А – плановое положение геотраверсов, В – 2D модели по профилям, С - 3D скоростная модель строения земной коры

Теплопроводность. Средние значения коэффициента теплопроводности осадочного слоя определены в диапазоне $1.5 \div 1.7$ Вт/м·К, гранитного – около 2.6, диоритового – $2.2 \div 2.3$ Вт/м·К, базальтового – $3 \div 3.1$ Вт/м·К. Для верхней мантии коэффициент теплопроводности соответствует 3.2 Вт/м·К.

Радиогенная теплогенерация. Сопоставление оценок величин теплогенерации разных слоев земной коры по данным [9-11] и формуле (4) показало удовлетворительную сходимость. Магматические образования, развитые в Северо-Тянь-Шаньском и Джунгарском блоках, характеризуются более высоким уровнем теплогенерации. Наибольшая концентрация радиоактивных элементов наблюдается в верхней части гранитного слоя на глубинах от 5 км до 30 км.

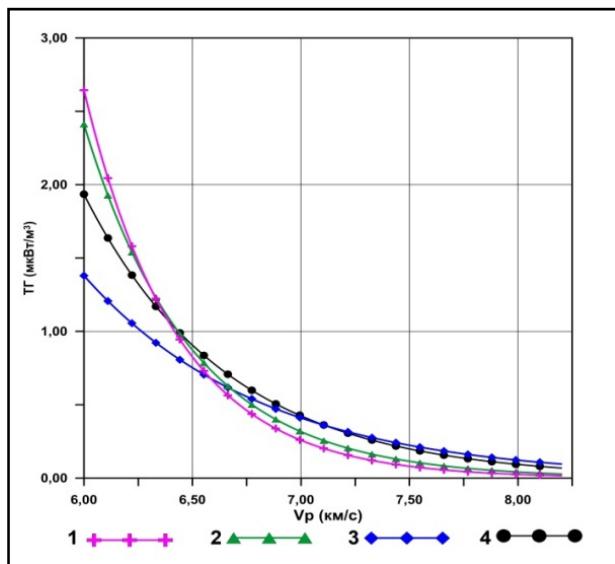


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности радиогенного тепловыделения в породах земной коры от скорости упругих волн: 1 – [9], 2 – [10], 3 – [11], 4 – формула (4)

Теплогенерация гранитного слоя составляет от 1.0 до 2.0 мкВт/м³, осадочного – от 0.2 мкВт/м³ до 1.0 мкВт/м³. С глубиной радиоактивное тепловыделение уменьшается неравномерно. Нижняя часть гранитного слоя горных областей характеризуется интенсивностью 0.6÷1.1 мкВт/м³, платформенной части - 0.5÷1.0 мкВт/м³. Теплогенерация базальтового слоя равна 0.5 мкВт/м³.

Тепловой поток. Карта теплового потока (ТП) на поверхности составлена по данным [12,13]. Кроме того учтены 249 скважинных измерений, выполненных авторами. Средняя плотность пунктов определений теплового потока составляет 1 измерение на 18 км²

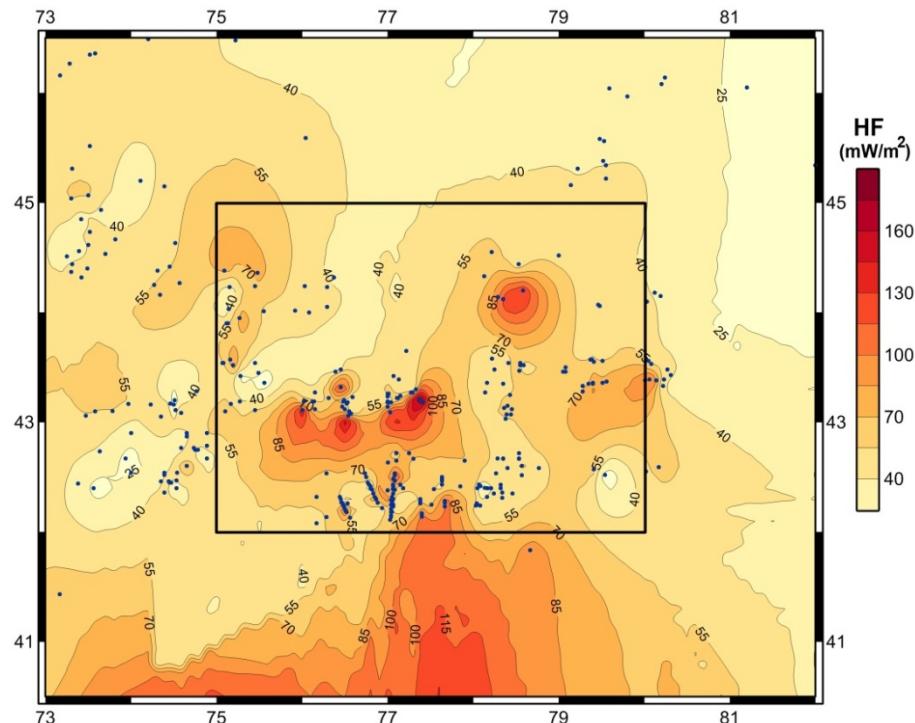


Рисунок 3 – Тепловой поток Северного Тянь-Шаня (мВт/м²), о – пункты определений в скважинах

Распределение ТП региона соответствует данным для районов кайнозойской тектонической активности. Выделены три области с различным режимом теплового потока: - высокогорные районы, платформенная часть и современные межгорные впадины. Высокогорные районы характеризуются повышенным уровнем теплового потока от 54 мВт/м² до 266 мВт/м² при среднем значении 63 мВт/м². Плотность теплового потока в межгорных впадинах меняется от 31 мВт/м² до 119 мВт/м² при среднем значении 54 мВт/м². Тепловой поток платформенной части территории составляет 40÷45 мВт/м². Вклад радиогенной компоненты теплового потока в общий ТП составляет от 60% до 90%.

Геотермическая модель. По распределению теплового потока, коэффициента теплопроводности пород, радиогенной теплогенерации рассчитано поле глубинных температур земной коры Северного Тянь-Шаня (рис.4). Структура теплового поля изучалась разделением расчетных температур на стационарную (линейную) и аномальную части. Аномальные (избыточные) температуры определены вычитанием из расчетного поля стационарной составляющей, соответствующей линейному геотермическому градиенту 12 °C/км.

Отмечается линейное понижение температур с юга на север от горных сооружений к платформенной части территории. Горизонтальные градиенты изменения температур уменьшаются от 1.5 °C/км для горных хребтов до 0.5 °C/км в этом направлении. Абсолютная температура составляет 600÷800 °C на глубине 40 км, 850÷1050 °C – на глубине 80 км и 1200 °C – на глубине 100 км. В интервале глубин от 20 км до 45 км определена температурная аномалия с повышенными значениями избыточных температур до 250 °C относительно линейного распределения. В плане аномалия вытянута в субширотном направлении непосредственно над границей М.

Термоупругие напряжения. Действующее давление рассчитано как сумма литостатического давления, обусловленного массой вышележащих горных пород, и термоупругих напряжений, вследствие неравномерного нагрева и неоднородности физико-механических свойств (уравнение 5).

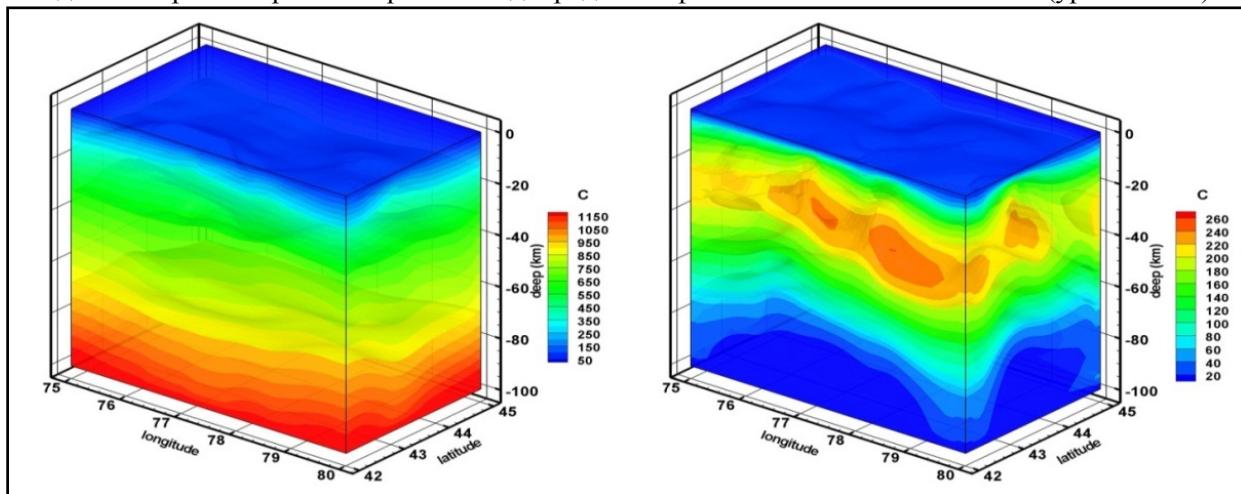


Рисунок 4 – Распределение температур в земной коре Северного Тянь-Шаня по данным моделирования. слева – суммарное поле температур ($^{\circ}\text{C}$), справа – аномальные (избыточные) температур ($^{\circ}\text{C}$)

На глубинах от 30÷50 км вклад температурных напряжений составляет 12%÷27% от литостатического давления и достигает 0.45 ГПа (рис. 5). Коэффициент отношения полного давления (с учетом термобарического) к литостатическому в области аномальных температур равен 1.3-1.4.

Расчеты находятся в интервале величин экспериментальных данных по минеральным равновесиям, показывающих, что тектоническое давление может достигать до 100% от литостатического и величин первых гигапаскалей [14].

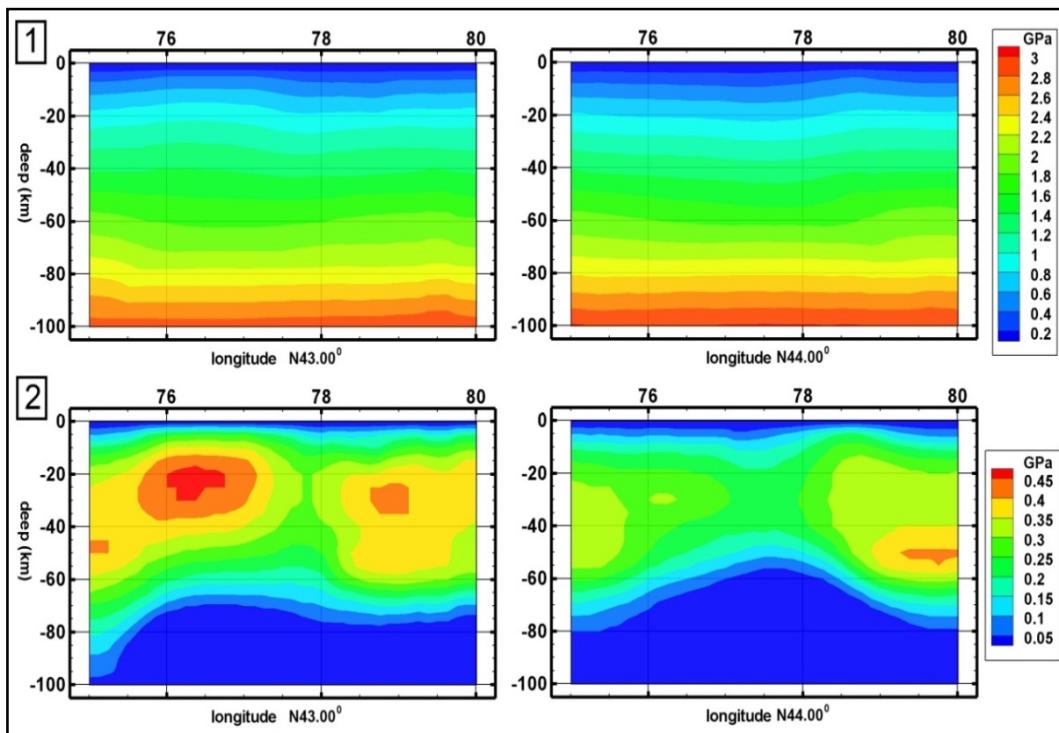


Рисунок 5 – Распределение термонапряжений с глубиной на широте $\text{N}43^{\circ}$ и $\text{N}44^{\circ}$
1 – суммарное литостатическое давление и термонапряжения; 2 – термонапряжения

Сопоставление геотермических построений с сейсмическим режимом. Сейсмогенная зона Северного Тянь-Шаня характеризуется сейсмоактивным слоем мощностью до 35 км [6,19,15] Нижняя часть коры практически не содержит очагов землетрясений. Морфология изотермы избыточных температур 230 °C в области аномального разогрева горных пород и изобарическая поверхность термоупругих напряжений интенсивностью 0.35 GPa могут быть отнесены к критериям контролирующим распределение гипоцентров землетрясений в объеме земной коры (рис. 5)

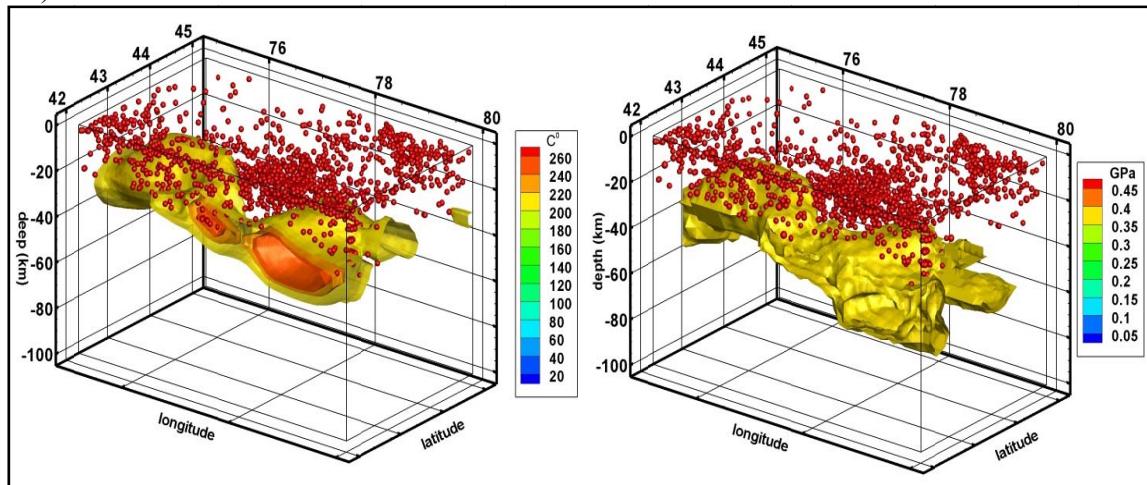


Рисунок 6 – Изотермическая поверхность аномальных температур 230 °C (слева) и изобарическая поверхность термонапряжений 0.35 GPa (справа), контролирующие распределения гипоцентров землетрясений в земной коре Северного Тянь-Шаня

Сопоставление распределения теплового потока и землетрясений среднего энергетического класса (9.0÷10.5) в плане показывает приуроченность эпицентров к областям пониженных значений ТП (рис. 6). Повышенная плотность эпицентров здесь возможно обусловлена пониженными вязкостными свойствами земной коры и повышенной хрупкостью горных пород. Можно предположить хрупкий механизм формирования землетрясений за счет снижения предела plasticности материала коры [16-18]. Вопрос требует дополнительного изучения.

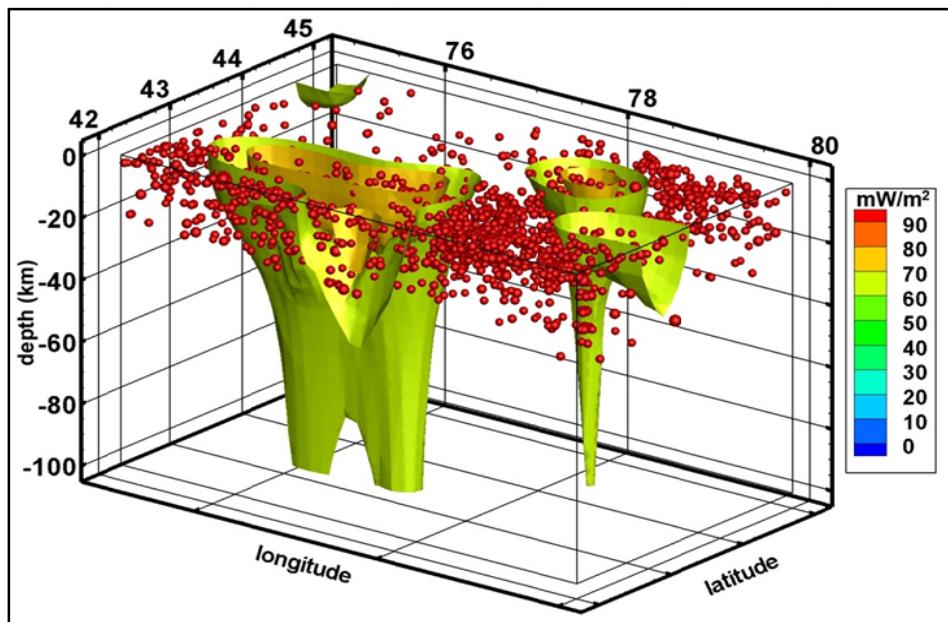


Рисунок 7 – Модель теплового потока Северного Тянь-Шаня с гипоцентрами землетрясений

Однако, катастрофические землетрясения прошлого века (Верненское, $M_s=7.1$, 1887г.; Чиликское, $M_s=8.1$, 1889г; Кеминское, $M_s=8.0$, 1911г.) произошли в областях с повышенными значениями теплового потока. Авторы предполагают в этих областях наличие фазовых превращений эклогит-базальт под воздействием высокотемпературных флюидов (более 650°C). Указанные температуры достигаются на глубинах 35-60 км. В областях плавления увеличивается объем пород и уменьшается их плотность и, как следствие, над зоной плавления активизируются вертикальные движения в пределах земной коры. Происходит рост гор вверх за счет увеличения объема и рост "корней" гор вниз за счет выплавления базальтов [19,20]. Формируются условия для катастрофических землетрясений.

Заключение.

Геотермическое моделирование позволяет сделать вывод о преобладающем влиянии температурных условий на развитие сейсмического процесса в континентальных условиях. Определяющим является наличие высокотемпературных областей с избыточными температурами на $100\div250^{\circ}\text{C}$ выше солидуса, что может привести к частичному плавлению горных пород.

Накопление термоупругих напряжений в земной коре может рассматриваться в качестве одного из критериев наблюдаемой в Северном Тянь-Шане сейсмической активности. Распределение гипоцентров землетрясений среднего энергетического класса контролируется областью избыточных температур до 230°C и изобарой термонапряжений менее 0.35 ГПа.

Сочетание численного моделирования температурного режима земной коры Северного Тянь-Шаня и сейсмических данных дает дополнительную информацию для прогнозных заключений о возможных механизмах и физических параметрах сейсмоактивной среды региона.

Работа выполнена в рамках проекта «Математическое моделирование воздействия термоупругих деформаций земной коры Северного Тянь-Шаня на формирование сейсмической активности с использованием геоинформационных спутниковых технологий» по бюджетной программе 055 «Научная и (или) научно-техническая деятельность», подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований»

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жантаев Ж.Ш., Мусабаев Т.А., Бибосинов А.Ж. Наземно-космические технологии изучения динамики земной коры и развитие методов прогноза землетрясений. – Алматы: Lambert Academic Publishing, 2013. – 348 с.
- [2] Vincenzo P., Massimo V., Paolo Ch. Geothermics. Heat Flow in the Lithosphere // University of Genova, Springer, 2014, 127р.
- [3] Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. - М.: Наука, 1989. - 432 с.
- [4] Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепломассобмена. - М.: Наука, 1984. -288 с.
- [5] J.C. Jaeger, N.G.W. Cook, and R.W. Zimmerman Fundamentals of rock mechanics–4th ed, 2007. – 475 р.
- [6] Тимуш А.В. Сейсмотектоника литосферы Казахстана – Алматы, 2011, 590с.
- [7] Сейсмическое районирование Республики Казахстан. - Алматы: Эверо, 2000
- [8] Шацилов В.И., Сайипбекова А.В. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии // Доклады НАН РК. – 1994. – № 6. –С.47-52.
- [9] Rybach L., Bantebarth G. Relationships between the petrophysical properties, density, seismic velocity, heat generation and mineral logical constitution. // Earth and Planet Sciens letters. –1982. –Vol. 57. –P.367-376.
- [10] Смыслов А.А., Моисеенко У.И., Чадович Т.З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. - Л.: Недра, –1979. – 190с.
- [11] Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Якоби Н.М. Тепловой поток континентов. - Киев: Наукова думка, 1982. –184с.
- [12] Davies J.H. Global map of solid Earth surface heat flow// Geochemistry, Geophysics, Geosystems, –2013.–P.14, doi:10.1002/ggge.20271.
- [13] Gosnold W.D., Panda B. The Global Heat Flow Database of The International Heat Flow Commission. –2002. <http://www.und.edu/org/ihtc/index2.html>.
- [14] Pleuger, J., and Y. Y. Podladchikov, A purely structural restoration of the NFP20-East cross section and potential tectonic overpressure in the Adula nappe (central Alps), Tectonics, 33, 656–685, doi:10.1002/2013TC003409.
- [15] Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. –Алматы. 2012, –267 с.
- [16] Burov E. Thermo-Mechanical Models for Coupled Lithosphere-Surface //Processes: Applications to Continental Convergence and Mountain Building Processes New Frontiers in Integrated Solid Earth Sciences / Editors: S. Cloetingh, J. Negendank, Springer Science+Business, Media, 2010. – 424 p.
- [17] Alfonso J.A., Ranalli G., Fernandez M. Thermal expansivity and elastic properties of the lithospheric mantle: Results from mineral physics of composites// Physics of the Earth Planetary Interiors –2005.–Vol. 149. –P. 279-306.

- [18] Zang A., Stephansson O. Stress Field of the Earth's Crust // Springer Science, Business Media B.V. –2010. – 322p
[19] А.К. Курскеев «Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана». Алматы, 2004 «Эверо», 504 с.
[20] Курскеев А.К. Геотермическая модель и современное корообразование в Тянь-Шаньском сегменте // В кн.: Результаты комплексных исследований в сейсмоактивных районах Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1984. – С.27-40.

Ж.Ш. Жантаев¹, А.В. Виляев¹, Э.Б. Серикбаева¹

Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы,
Ионосфера институты, Қазақстан Республикасы, Алматы, Каменское плато

**СОЛТУСТІК ТЯНЬ-ШАНЫНЦ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТӘРТІП
ЕРЕКШЕЛІГІН БАҒАЛАУДА ГЕОТЕРМИЯЛЫҚ ҮЛГІЛЕУДІ ҚОЛДАНУ**

Анната. Солтүстік Тянь-Шань аймағының мысалында сейсмикалық белсенділіктің қалыптасыуына себебін тигізетін жер қойнауындағы температураның біртексіз таралуының әсері қарастырылған. Жер қыртысының жылулық өріс параметрлері жайындағы мәліметтер жүйелендірілген және жалпыландырылған. Терендереген сайын жылуды түрлендіретін элементтердің таралу заңдылығы анықталып, 3D көлемдік геотермиялыш үлгілері түргизилді. Сейсмикалық белсенділігі байқалған геотермиялыш үлгінің салыстырмалы талдауы орындалды.

Радиогендік жылудың қосымша көздерін ескере отырып сонымен қатар бастапқы және шектес жағдайларымен кондуктивтік жылу тасымалдаудың үшөлшемді тендеуі сандық әдіспен шешілді. Беттегі жылулық өріс ұнғымада өлшенген жергілікті мәліметтер бойынша анықталды. Тау жыныстарының петрологиялық құрамына, температурасына қысымына және жылулық өткізгіш коэффициентіне байланысты, қимадағы құма толқынның таралу жылдамдығының таралу ақпараты ескерілген.

Солтүстік Тянь-Шань тауларының 35-60 км терендерінде солидустан жоғары $100\div250$ °C температурада тау жыныстарының кейір бөліктерінің балқуы ерекшеленген.

Тау жыныстарының критикалық тұтқырлығы шыдамайтын, изотерма бойынша аномалдық температурасы 230 °C болатын және изобарада термикалық-кернелулік қарқындылығы 0.35 GPa болатын температурасы жоғары аймақ қоршалды. Аномалды аймақта термикалық кернеуліктің максималдық мәні 0.48 GPa тең, ол литостатикалық қысымының $25\div30\%$ құрайды. Өткен ғасырдың апарттық жерсілкіністері (Верненское M=7.1, Кеминское M=8.0) мантиялыш жылудың максималды таралу аумағында орын алды.

Сейсмикалық үдерістің қалыптасуы үшін температуралық жағдайдың әсерінің басымдылығына корытынды жасалды.

Түйін сөздер: температура, жылулық өріс, термикалық кернеулік, жер қыртысы, сейсмикалық, математикалық үлгілеу.

Сведения об авторах:

Жантаев Ж.Ш. - д.ф.м.н, член-корр. НАН РК, ДТОО «Институт ионосферы», г.Алматы, Казахстан, Адрес: 050020, Алматы, Каменское плато, Служ. тел. 380-30-54;

Виляев А.В. - к.г.м.н., ДТОО «Институт ионосферы», г.Алматы, Казахстан, Адрес: 050020, Алматы, Каменское плато, Служ. тел. 385-09-68; e-mail: vilayev@gmail.com

Серикбаева Э.Б. - научный сотрудник, ДТОО «Институт ионосферы», г.Алматы, Казахстан, Адрес: 050020, Алматы, Каменское плато, Служ. тел. 385-09-68; e-mail: elya_sb@inbox.ru

МАЗМУНЫ

<i>Кульжумиева А.А., Сартабанов Ж.А.</i> Сызықты біртекті D_e -жүйелерді жордандық канондық түрге келтіре.....	5
<i>Сайдуллаева Н.С., Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Каликулова А.О., Пазылова Д.Т.</i> Matlab бағдарламалар пакетін қолданып «Сыртқы күш есептегендегі мәжбүрлі тербелістерді есептеу және визуализациялау» компьютерлік зертханалық жұмысты орындауды үйімдастыру.....	13
<i>Сайдуллаева Н.С., Тағаев Н.С., Пазылова Д.Т., Каликулова А.О.</i> Влияние однократной перегрузки на развитие усталостной трещины.....	22
<i>Жантаев Ж.Ш., Виляев А.В., Серикбаева Э.Б.</i> Солтүстік Тянь-Шаньнің сейсмикалық тәртіп ерекшелігін бағалауда геотермиялық үлгілеуді қолдану.....	26
<i>Гордиенко Г.И., Яковец А.Ф., Литвинов Ю.Г.</i> Ионосфералық F-аймактың биіктігін бағалау әдістерін салыстыру.....	35
<i>Яковец А.Ф., Гордиенко Г.И., Крюков С.В., Жумабаев Б.Т., Литвинов Ю.Г.</i> Электрондық концентрацияның ионосфераның F2-қабатының максималындағы күнделікті өзгеруі.....	44
<i>Яковец А.Ф., Гордиенко Г.И., Жумабаев Б.Т., Литвинов Ю.Г., Абдрахманов Н.</i> Максимум F2-қабатының тұнгі көбеюлерінің жұқа құрылымы.....	50
<i>Васильев И.В., Жұмабаев Б.Т.</i> Жердің электрлік өрісінің қалыптасуына гравитациялық күшінің есери.....	55
<i>Козин И.Д., Федулина И.Н.</i> Радиофизика есептерін шешудегі вакуум – орта.....	60
<i>Козин И.Д., Федулина И.Н.</i> Радиотолқының қабылдағыш антеннаға есери.....	66
<i>Жантаев Ж.Ш., Стихарный А.П., Виляев А.В.</i> Жердің қазіргі заманғы қозғалысының GPS бақылаудағы уақыттық катарапарының кедегісін сузу алгоритмі.....	71
<i>Батрышев Д.Р., Ерланғызы Е., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т.</i> Бір қабырғалы көміртекті нанотұтікшелердің құрылымдық және электрондық қасиеттерін BECKE 3-PARAMETER LEE-YANG-PARR (B3LYP) гибрид функционалы негізінде зерттеу.....	75
<i>Серебрянский А. В., Усольцева Л. А., Комаров А. А., Рева И.В.</i> Атмосфералық экстинкцияның лездік мәндері және ауысуы коэффициенттері.....	84
<i>Бақтыбаев К., Бактыбаев М.К., Наукенов Д.Д., Далелханкызы А.</i> Өзара әрекеттесуші бозондар моделінің микроскоптық негіздемесіжәне ядролық теориядағы жалпыланған квазиспиндік формализм.....	91
<i>Бапаев К.Б., Слемжансанова С.С.</i> Айырымдық-динамикалық жүйелердің орнықтылығы.....	101
<i>Иманбаева А.Б., Шалданбаев А.Ш., Конжасарова А.А.</i> Коэффициенттері тұрақты кәдімгі дифференциалдық тендеулер системасының сингуляр әсерленген Коши есебін спектралдік әдіспен шешу.....	112
<i>Конжасарова А.А., Шалданбаев А.Ш., Иманбаева А.Б.</i> Үқастық әдісі бойынша, сингуляр әсерленген Кошидің есебін шешу.....	127
<i>Косов В.Н., Жакебаев Д.Б., Федоренко О.В.</i> Изотермиялық диффузия кезіндегі тік каналдардағы үшкомпонентті газдар қоспаларында пайда болатын конвективтік қозғалыстардың сандық талдауы.....	134
<i>Мырзақұл Ш.Р., Белисарова Ф.Б., Мырзақұл Т.Р., Мырзакулов К.Р.</i> Старобинский модельнің негізіндегі F-эссенция динамикасы	143
<i>Мамырбаев О.Ж., Мухсина Қ.Ж.</i> Мәтін үндесітілігін анықтауға арналған қолданыстағы жүйелерді талдау.....	149
<i>Омашова Г.Ш., Слабекова Р., Қабылбеков К.А., Саудахметов П.А., Абдрахманова Х.К., Аширбаев Х.А.</i> Физикалық құбылыстарды компьютерлік модельде MATLAB жүйесін колдану.....	156

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Кульжумиева А.А., Сартабанов Ж.А.</i> Приведение линейных однородных D_e -систем к жордановому каноническому виду.....	5
<i>Сайдуллаева Н.С., Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Каликулова А.О., Пазылова Д.Т.</i> Организация выполнения компьютерной лабораторной работы «Расчет и визуализация вынужденных колебаний при наличии внешней силы» с применением пакета программ Matlab.....	13
<i>Сайдуллаева Н.С., Тагаев Н.С., Пазылова Д.Т., Каликулова А.О.</i> Влияние однократной перегрузки на развитие усталостной трещины.....	22
<i>Жантаев Ж.Ш., Виляев А.В., Серикбаева Э.Б.</i> Применение геотермического моделирования в оценке особенностей сейсмического режима Северного Тянь-Шаня.....	26
<i>Гордиенко Г.И., Яковец А.Ф., Литвинов Ю.Г.</i> Сравнение методов оценки высоты максимума F -области ионосферы.....	35
<i>Яковец А.Ф., Гордиенко Г.И., Крюков С.В., Жумабаев Б.Т., Литвинов Ю.Г.</i> День ото дня вариации электронной концентрации в максимуме $F2$ -слоя ионосферы.....	44
<i>Яковец А.Ф., Гордиенко Г.И., Жумабаев Б.Т., Литвинов Ю.Г., Абдрахманов Н.</i> Тонкая структура ночных увеличений в максимуме $F2$ -слоя.....	50
<i>Васильев И.В., Жумабаев Б.Т.</i> Влияние гравитации на формирование электрического поля земли.....	55
<i>Козин И.Д., Федулина И.Н.</i> Вакуум – среда в решении задач радиофизики.....	60
<i>Козин И.Д., Федулина И.Н.</i> Воздействие радиоволны на приёмную антенну.....	66
<i>Жантаев Ж.Ш., Стихарный А.П., Виляев А.В.</i> Алгоритм фильтрации помех временных рядов GPS мониторинга современных движений земной поверхности	71
<i>Батрышев Д.Г., Ерланулы Е., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т.</i> Исследование структурных и электронных свойств одностенных углеродных нанотрубок на основе гибридного функционалаbecke 3-PARAMETER LEE-YANG-PARR (B3LYP).....	75
<i>Серебрянский А. В., Усольцева Л. А., Комаров А. А., Рева И. В.</i> Коэффициенты перехода и мгновенные значения атмосферной экстинкции.....	84
<i>Бактыбаев К., Бактыбаев М.К., Науменов Д.Д., Даңелханкызы А.</i> Микроскопическое обоснование модели взаимодействующих бозонов и обобщенный квазиспиновый формализм в теории ядра	91
<i>Банаев К.Б., Сламжансонова С.С.</i> Об устойчивости разностно – динамических систем.....	101
<i>Иманбаева А.Б., Копжасарова А.А., Шалданбаев А.Ш.</i> Асимптотическое разложение решения сингулярно возмущенной задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.....	112
<i>Копжасарова А.А., Шалданбаев А.Ш., Иманбаева А.Б.</i> Решение сингулярно возмущенной задачи Коши методом подобия.....	127
<i>Косов В.Н., Жакебаев Д.Б., Федоренко О.В.</i> Численный анализ конвективных движений, возникающих при изотермической диффузии в вертикальных каналах в трехкомпонентных газовых смесях.....	134
<i>Мырзакул Ш.Р., Белисарова Ф.Б., Мырзакул Т.Р., Мырзакулов К.Р.</i> Динамика F-эссенции в рамках модели старобинского	143
<i>Мамырбаев О.Ж., Мухсина Қ.Ж.</i> Анализ существующих систем для определения тональности текста.....	149
<i>Омашова Г.Ш., Слабекова Р., Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Абдрахманова Х.К., Аширбаев Х.А.</i> Использование системы MATLAB при компьютерном моделировании физических процессов.....	156

CONTENTS

<i>Kulzumiyeva A.A., Sartabanov Zh.A.</i> Reduction of linear homogeneous D_e -systems to the jordan canonical form.....	5
<i>Saidullayeva N.S., Kabylbekov K.A., Ashirbaev Kh.A., Kalikulova A.O., Pazylova D.T.</i> Organization of computer lab work "Calculation and visualization of forced oscillations in the presence of an external force" with the use of the software package Matlab.....	13
<i>Saidullayeva N.S., Tagaev N.S., Pazylova D.T., Kalikulova A.O.</i> Effect of single overload on the development of a fatigue crack.....	22
<i>Zhantaev Zh.Sh., Vilyayev A.V., Serikbaeva E.B.</i> The application of geothermal modeling in the assessment of the features of the seismic regime of the Northern Tien Shan.....	26
<i>Gordienko G.I., Yakovets A.F., Litvinov Yu.G.</i> Comparison of the methods for estimating the hight of the maximum of th F region of the ionosphere.....	35
<i>Yakovets A.F., Gordienko G.I., Kryukov S.V., Zhumabayev B.T., Litvinov Yu.G.</i> Day-to-day variability of electron concentration n the ionospheric $F2$ layer maximum.....	44
<i>Yakovets A.F., Gordienko G.I., Zhumabayev B.T., Litvinov Yu.G., Abdrahmanov N.</i> Fine structure of nighttime enhancements of the electron concentration in the $F2$ layer maximum	50
<i>Vassilyev I.V., Zhumabayev B.T.</i> Influence of gravitation on formation of the electric field of the earth.....	55
<i>Kozin I.D., Fedulina I.N.</i> Vacuum - environment in the decision of radio physics problems.....	60
<i>Kozin I.D., Fedulina I.N.</i> Radio-wave action on the receiving antenna.....	66
<i>Zhantaev Zh.Sh., Stikharny A.P., Vilyayev A.V.</i> The algorithm for filtering the errors of time series GPS monitoring of factual movements of the earth's surface.....	71
<i>Batryshev D.G., Yerlanuly Ye., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T.</i> Investigation of structural and electronic properties of single-walled carbon nanotubes on the basis of a hybrid functional becke 3-parameter LEE-YANG-PARR (B3LYP).....	75
<i>Serebryanskiy A., Usoltseva L., Komarov A., Reva I.</i> The trasformation coefficients and instantaneous values of atmospheric extinction.....	84
<i>Baktybaev K., Baktybaev M.K., Naukenov D.D., Dalelkhanqyzy A.</i> Microscopic justification of the model of interacting bosons and a generelizedquasispin formalism in the theory of the nuclei.....	91
<i>Bapayev K.B., Slamzhanova S.S.</i> On stability of difference-dynamical systems	101
<i>Imanbayeva A.B., Shaldanbayev A.Sh., Kopzhasarova A.A.</i> Asymptotic decomposition the decision is singular the indignant task of Cauchy for the system of the ordinary differential equations with constant coefficients.....	112
<i>Kopzhasarova A.A., Shaldanbayev A.Sh., Imanbayeva A.B.</i> The decision is singular the indignant task of Cauchy by a similarity method.....	127
<i>Kossov V.N., Zhakebaev D.B., Fedorenko O.V.</i> Numerical analysis of convective motions occurring under isothermal Diffusion in the vertical channels in ternary gaseous mixtures.....	134
<i>Myrzakul S.R., Belisarova F.B., Myrzakul T.R., Myrzakulov K.R.</i> Dynamics of F-essence in frame of the starobinsky model.....	143
<i>Mamyrbayev O.Zh., Muhsina K.Zh.</i> Analysis of existing systems for determination of tonnity of text.....	149
<i>Omarshova G. Sh., Spabekova R., Kabylbekov K. A., Saidahmetov P. A., Abdrahmanova H. K., Ashirbaev H. A.</i> The use of the system MATLAB in the compyter simulation of physical processes.....	156

**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 сайтах:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

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

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы *М. С. Ахметова, Д.С. Аленов, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 25.09.2017.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
11 п.л. Тираж 300. Заказ 5.

*Национальная академия наук РК
050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-18, 272-13-19*