

ISSN: 2224-5227 (Print)
ISSN: 2518-1483 (Online)

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№4
2025**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

4 (356)

OCTOBER – DECEMBER 2025

**PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR**

ALMATY, NAS RK

CHIEF EDITOR:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

MAMYRBAEV Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Sabayev University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

WOICK Waldemar, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

BIYASHEV Rustam Gakashevich, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

Certificate № **KZ77VPY00121154** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **05.06.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area: *information and communication technologies*.

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

БАС РЕДАКТОР:

МҮТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГҮНЧЕКОВ Жүмаділ Жанабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

КАПАЛОВА Нұрсұлу Аладжарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025** ж. берген № **KZ77VPY00121154** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимканр Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Валдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛЯРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Алимхан, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТМАН Мохамед, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ77VPY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2025

CONTENTS

B. Assanova, Zh. Moldasheva, A.T. Kishubaeva

Decision support system structure and blocks for selecting efficient delayed coking modes.....11

Zh.T. Abildayeva, R.K. Uskenbayeva, G.S. Beketova, N.B. Konyrbaev, S.B. Seydazimov

Multi-criterion optimization of advertising budget allocation in the agro-industrial complex based on NSGA-III algorithm.....26

A.O. Aliyeva, B.S. Omarov, R.B. Abdrakhmanov, D.R. Sultan, A.B. Toktarova

Neural network model for automatic detection of Kazakh-language hatespeech.....40

O. Auyelbekov, E. Bostanov, S. Sapakova, L. Tukenova, A. Kozhagul

Modeling and analysis of a generator with permanent and variable magnets.....55

G. Autova, G. Nurtayeva, E. Zulbukharova, G. Yeleussizova, R. Zhumabekova

Theoretical foundations of interdisciplinary integration of physics and computer science.....73

A.Zh. Akhmetova, M.A. Kantureyeva, A.A. Abisheva, A. Aubakirova, A.A. Shekerbek

Analysis of the social network user's environment.....89

A.Sh. Barakova, K.S. Shadinova, A.S. Orynbaeva, G. Sugurzhanova

Design of a model for protecting a website's authentication data and content based on blockchain technology.....102

A.N. Zhidebayeva, G.U. Madaliyeva, B.O. Tastanbekova, S.S. Karzhaubekova, G.S. Shaimerdenova

Deep neural network Conv-LSTM for ECG-based cardiac disorder identification.....122

N.M. Zhunissof, A.B. Aben, A.B. Amanzholova

The fraud detection model in text messages.....138

A. Issakhov, A. Alzhanov, A. Akhmedov, A. Amanzholov, T. Murat

Numerical simulation of thermohydrodynamics during heated water discharge into Lake Balkhash.....152

Z. Kaderkeyeva, B. Razakhova, G. Bekmanova, A. Nazyrova, M. Zhasuzakova Q-Bilim: an intelligent system for assessing learning outcomes based on competencies.....	171
N. Karymsakova, A. Boltaboyeva, D. Turmakhanbet, M. Maulenbekov, T. Abdirova Unsupervised learning for the identification of critical conditions in renewable energy production.....	184
A.Kulakayeva, E.Daineko, B. Medetov, A. Nurlankyzy Evaluation of the effectiveness of modern neural network architectures for VAD under low snr ratio conditions.....	203
B. Orazbayev, A. Zhumadillayeva, K. Orazbayeva, R. Yessirkessinov, Zh. Tuleuov Development of models of sulfur production processes based on artificial neural networks and simulation.....	216
L. Rzayeva, A. Ryzhova, M. Zhaparkhanova, A. Myrzatay, Zh. Kozhakhmet A new LSTM-based web application for automated password strength evaluation.....	234
D. Sagidoldin, A. Zhetpisbayeva, B. Zhumazhanov, B. Zhumazhanov Increasing the reliability of data transmission from small spacecraft using SDR equipment.....	259
A.N. Seraly, A.D. Mekhtiyev, G.Z. Ziyatbekova, K.B. Begalieva, R.A. Mekhtiyev Development of hardware for monitoring optical parameters.....	274
A.A. Taurbekova, M.V. Markosyan Development and implementation of a computational model of magmatic processes in the bowls of the Earth and on its surface.....	288
K. Chezhimbayeva, A. Mukhamejanova, Y. Garmashova Fuzzy-logic-based expert system for predicting QoS in 5G networks.....	306

МАЗМҰНЫ

Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, А. Кишубаева Баяу кокстеу қондырғысы үшін тиімді жұмыс режимдерін таңдауға шешім қолдау жүйесі құрылымы.....	11
Ж.Т. Әбілдаева, Р.К. Ускенбаева, Г.С. Бекетова, Н.Б. Қоңырбаев, С.Б. Сейдазимов NSGA-III алгоритмі негізінде агроөнеркәсіптік кешендегі жарнамалық бюджетті бөлуді көп критериялы оңтайландыру.....	26
А.О. Әлиева, Б.С. Омаров, Р.Б. Абдрахманов, Д.Р. Султан, А.Б. Тоқтарова Қазақ тіліндегі дискриминацияны автоматты анықтауға арналған нейрондық желілік моделі.....	40
О. Әуелбеков, Е. Бостанов, С. Сапақова, Л. Түкенова, А. Қожағұл Тұрақты және айнымалы магниттері бар генераторды модельдеу және талдау.....	55
Г.М. Аутова, Г.К. Нуртаева, Э.М. Зильбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жұмабекова Физика мен информатика пәндерінің пәнаралық интеграциясының теориялық негіздері.....	73
А.Ж. Ахметова, М.А. Кантурсева, А.А. Абишева, А. Аубакирова, А.А. Шекербек Әлеуметтік желі қолданушыларының ортасын талдау.....	89
А.Ш. Баракова, К.С. Шадинова, А.С. Орынбаева, Г. Сугуржанова Блокчейн технологиясы негізінде веб сайттың аутентификациялық деректері мен өнімін қорғау моделін құрастыру.....	102
А.Н. Жидебаева, Г.У. Мадалиева, Б.О. Тастанбекова, С.С. Қаржаубекова, Г.С. Шаймерденова Жүрек ауруларын анықтауда Conv-LSTM архитектурасына негізделген терең нейрондық желі.....	122
Н.М. Жунисов, А.Б. Абен, Ә.Б. Аманжолова Мәтіндік хабарламалардағы алаяқтықты анықтау моделі.....	138
А.А. Исахов, А. Альжанов, А. Ахмедов, А. Аманжолов, Т. Мурат Балқаш көліне жылы су ағызу кезіндегі термогидродинамиканы сандық модельдеу.....	152

З.К. Кадеркеева, Б.Ш. Разахова, Г.Т. Бекманова, А.Е. Назырова, М.Ж. Жасұзақова Q-Bilim: құзыреттерге негізделген оқу нәтижелерін бағалауға арналған интеллектуалды жүйе.....	171
Н. Карымсакова, А. Болтабоева, Д. Тұрмаханбет, М. Мауленбеков, Т. Абдирова Жанартылатын энергия өндірісіндегі критикалық режимдерді анықтауға арналған мұғалімсіз оқыту.....	184
А. Кулакаева, Е. Дайнеко, Б. Медетов, А. Нурланкызы Сигнал/шуыл қатынасы төмен жағдайларда заманауи нейрондық желілік VAD архитектураларының тиімділігін бағалау.....	203
Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесин, Ж. Тулеуов Күкірт өндіру процесстерінің модельдерін жасанды нейрондық желілер негізінде әзірлеу және модельдеу.....	216
Л. Рзаева, А. Рыжова, М. Жапарханова, А. Мырзатай, Ж. Кожамет, Құпиясөздің беріктігін автоматты бағалауға арналған LSTM негізіндегі жаңа веб-қосымша.....	234
Д.Т. Сагидолдин, А.Т. Жетписбаева, Б.Р. Жумажанов, Б.С. Жумажанов SDR жабдықтарын пайдалану арқылы, шағын ғарыш аппараттарынан деректерді берудің сенімділігін арттыру.....	259
А.Н. Сералы, А.Д. Мехтиев, Г.З. Зиятбекова, К.Б. Бегалиева, Р.А. Мехтиев Оптикалық параметрлерді бақылауға арналған аппараттық құрылғыны әзірлеу.....	274
А.А. Таурбекова, М.В. Маркосян Жер көзіндегі және оның бетіндегі магматтық процестердің есептік моделін әзірлеу және енгізу.....	288
К.С. Чежимбаева, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова Айқын емес логика негізінде 5G желілеріндегі QoS болжау expertтік жүйесі.....	306

СОДЕРЖАНИЕ

Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, А. Кишубаева Структура и функциональные блоки системы поддержки решений для выбора режимов замедленного коксования.....	11
Ж.Т. Абилдаева, Р.К. Ускенбаева, Г.С. Бекетова, Н.Б. Конырбаев, С.Б. Сейдазимов Многокритериальная оптимизация распределения рекламного бюджета в апп на основе алгоритма NSGA-III.....	26
А.О. Алиева, Б.С. Омаров, Р.Б. Абдрахманов, Д.Р. Султан, А.Б. Токтарова Нейросетевая модель для автоматического обнаружения дискриминации в казахском языке.....	40
О. Ауельбеков, Е. Бостанов, С. Сапакова, Л. Туkenова, А. Кожугул Моделирование и анализ генератора с постоянными и переменными магнитами.....	55
Г.М. Аутова, Г.К. Нуртаева, Э.М. Зулбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жумабекова Теоретические основы междисциплинарной интеграции физики и информатики.....	73
А.Ж. Ахметова, М.А. Кантуреева, А.А. Абишева, А. Аубакирова, А.А. Шекербек Анализ окружения ползователей социальной сети.....	89
А.Ш. Баракова, К.С. Шадинова, А.С. Орынбаева, Г. Сугуржанова Разработка модели защиты аутентификационных данных и контента веб-сайта на основе технологии блокчейн.....	102
А.Н. Жидебаева, Г.У. Мадалиева, Б.О. Тастанбекова, С.С. Каржаубекова, Г.С. Шаймерденова Глубокая нейронная сеть на основе архитектуры Conv-LSTM для выявления сердечных заболеваний.....	122
Н.М. Жунисов, А.Б. Абен, А.Б. Аманжолова Модель обнаружения мошенничества в текстовых сообщениях.....	138
А.А. Исахов, А. Альжанов, А. Ахмедов, А. Аманжолов, Т. Мурат Численное моделирование термогидродинамики при сбросе подогретых вод в озеро Балхаш.....	152

З.К. Кадеркеева, Б.Ш. Разахова, Г.Т. Бекманова, А.Е. Назырова, М.Ж. Жасузакова Q-Bilim: интеллектуальная система оценки результатов обучения на основе компетенций.....	171
Н. Карымсакова, А. Болтабоева, Д. Тұрмаханбет, М. Мауленбеков, Т. Абдирова Обучение без учителя для выявления критических режимов в производстве возобновляемой энергии.....	184
А. Кулакаева, Е. Дайнеко, Б. Медетов, А. Нурланкызы Оценка эффективности современных нейросетевых архитектур VAD при низком отношении сигнал/шум.....	203
Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесинов, Ж. Тулеуов Разработка моделей процессов производства серы на основе искусственных нейронных сетей и моделирование.....	216
Л. Рзаева, А. Рыжова, М. Жапарханова, А. Мырзатай, Ж. Кожамет Новое веб-приложение на основе LSTM для автоматизированной оценки надежности паролей.....	234
Д.Т. Сагидолдин, А.Т. Жетписбаева, Б.Р. Жумажанов, Б.С. Жумажанов Повышение надёжности передачи данных с малых космических аппаратов с применением SDR оборудования.....	259
А.Н. Сералы, А.Д. Мехтиев, Г.З. Зиятбекова, К.Б. Бегалиева, Р.А. Мехтиев Разработка аппаратного средства для контроля оптических параметров.....	274
А.А. Таурбекова, М.В. Маркосян, Н.Т. Карымсакова Разработка и реализация вычислительной модели магматических процессов в недрах земли и на её поверхности.....	288
К.С. Чежимбаева, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова Экспертная система прогнозирования QoS в 5G-сетях на основе нечеткой логики.....	306

© A.A. Taurbekova^{1*}, M.V. Markosyan², 2025.

¹KazNRTU named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan;

²Yerevan Research Institute of Communications, Yerevan, Armenia;

³National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia.

E-mail: ainura230771@gmail.com

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A COMPUTATIONAL MODEL OF MAGMATIC PROCESSES IN THE BOWLS OF THE EARTH AND ON ITS SURFACE

Taurbekova Ainur — PhD student at KazNTU named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: ainura230771@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Markosyan Mher — Doctor of Technical Sciences, Professor at Yerevan Research Institute of Communications and National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia,

E-mail: mark@yetri.am, <https://orcid.org/0000-0003-1972-5266>, Republic of Armenia

Abstract. The relevance and novelty of research in the study of tectonic activity occurring in the Earth's deep structures is substantiated. Specifically, the use of modern numerical approaches and algorithms for simulating tectonic processes is emphasized. It is shown that in the last decade two main areas of research in the Earth sciences have emerged: deep geodynamics and the early history of the Earth. The task of deep geodynamics includes the study of physical and chemical processes occurring in the bowels of the Earth below a level of 400 km, i.e. the boundary of the upper mantle itself, which, together with the crust, forms the tectonosphere – the main area of manifestation of plate tectonics. The aim of the work is to present a formal model of magmatic flows and simulations, for which these flows are represented as fluids with high viscosity and low Reynolds numbers. The modeling methodology is based on solving differential equations with initial and boundary conditions for fixed parameters of the moving boundary. As a result, a model aimed at analyzing the initial stages of tectonic changes is proposed, which can be applied to identify potentially seismically hazardous zones. The results of modeling using the developed software package are presented, demonstrating that this approach can complement existing methods for monitoring crustal dynamics. It is shown that the proposed methods provide higher modeling accuracy compared to existing

analogues and can be used as part of an early warning system, contributing to an increase in the accuracy and lead time of forecasting large-scale seismic events.

Keywords: numerical modeling, tectonic processes, magmatic flows, earthquakes, seismic activity, early warning, highly viscous fluid, Reynolds model, geophysics, computational model

© А.А. Таурбекова^{1*}, М.В. Маркосян², 2025.

¹Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан;

²Ереван байланыс ғылыми-зерттеу институты, Ереван, Армения;

³ Армения Ұлттық сәулет және құрылыс университеті, Ереван, Армения.

E-mail: ainura230771@gmail.com

ЖЕР КӨЗІНДЕГІ ЖӘНЕ ОНЫҢ БЕТІНДЕГІ МАГМАТТЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ЕСЕПТІК МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ

Таурбекова Айнұр — PhD докторант, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: ainura230771@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Маркосян Мгер — т.ғ.д., Ереван байланыс ғылыми-зерттеу институтының және «Армения Ұлттық сәулет және құрылыс университетінің» профессоры, Ереван, Армения,
E-mail: mark@yetri.am, <https://orcid.org/0000-0003-1972-5266>.

Аннотация. Жердің терең құрылымдарында кездесетін тектоникалық белсенділік саласындағы зерттеулердің өзектілігі мен жаңалығы дәлелденді. Атап айтқанда, тектоникалық процестерді модельдеу үшін заманауи сандық тәсілдер мен алгоритмдерді пайдалану талқыланады. Соңғы онжылдықта жер туралы ғылымдарда екі негізгі зерттеу бағыты пайда болғаны көрсетілген: терең геодинамика және Жердің ерте тарихы. Терең геодинамиканың міндетіне 400 км-ден төмен жер қойнауында болып жатқан физикалық-химиялық процестерді, яғни жер қыртысымен бірге тектоносфераны құрайтын жоғарғы мантияның шекарасын - тақта тектоникасының негізгі көрініс беру аймағын зерттеу кіреді. Бұл жұмыстың мақсаты Жер бетіне көтерілген магмалық ағындардың моделін ұсыну болып табылады, олар үшін бұл магма ағынының тұтқырлығы өте жоғары және Рейнольдс сандары төмен сұйықтықтар ретінде ұсынылған. Модельдеу әдістемесі жылжымалы шекараның бекітілген параметрлері үшін бастапқы және шекаралық шарттары бар дифференциалдық теңдеулерді шешуге негізделген. Нәтижесінде, сейсмикалық қауіпі жоғары аймақтарды анықтауға болатын тектоникалық өзгерістердің бастапқы кезеңдерін талдауға бағытталған модель ұсынылды. Жасалған бағдарламалық пакетті пайдалана отырып модельдеу нәтижелері ұсынылып, бұл тәсіл жер қыртысының магманың жер бетіне көтерілу динамикасын байқаудың қолданыстағы әдістерін толықтыра алатыны көрсетілген. Ұсынылған әдістер бар аналогтармен салыстырғанда модельдеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз ететіні және ауқымды сейсмикалық оқиғаларды болжау кезіндегі дәлдігі

мен орындалу уақытының мүмкіндігіне ықпал ете отырып, ерте хабарлау жүйесінің бөлігі ретінде пайдаланылуы мүмкін екендігі көрсетілген. Яғни адам өміріне төнген қауіптің алдын алу мақсатында жасалған зерттеу әдісі болып табылады.

Түйін сөздер: сандық модельдеу, тектоникалық процестер, магмалық ағындар, жер сілкінісі, сейсмикалық белсенділік, ерте ескерту, жоғары тұтқыр сұйықтық, Рейнольдс моделі, геофизика, есептеу моделі

© А.А. Таурбекова^{1*}, М.В. Маркосян², 2025.

¹КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

²Ереванский НИИ Средств связи, Ереван, Армения;

³Национальный университет Архитектуры и строительства Армении,
Ереван, Армения.

E-mail: ainura230771@gmail.com

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ И НА ЕЁ ПОВЕРХНОСТИ

Таурбекова Айнур — докторант КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

E-mail: ainura230771@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Маркосян Мгер — д.т.н., профессор Ереванский НИИ Средств связи и Национальный университет Архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения,

E-mail: mark@yetri.am, <https://orcid.org/> ORCID ID: 0000-0003-1972-5266.

Аннотация. Обосновывается актуальность и новизна исследований в области изучения тектонической активности, протекающих в глубинных структурах Земли. В частности, использованию современных численных подходов и алгоритмов для имитации процессов тектонической активности. Показано, что в последнее десятилетие определились два главных направления исследований в науках о Земле – глубинная геодинамика и ранняя история Земли. В задачу глубинной геодинамики входит изучение физических и химических процессов, протекающих в недрах Земли ниже уровня 400 км, т.е. границы собственно верхней мантии, образующей вместе с корой тектоносферу – основную область проявления тектоники плит. Целью работы является представление формальной модели магматических потоков и моделирования, для чего эти потоки представлены как жидкости с высокой вязкостью и низкими значениями числа Рейнольдса. Методология моделирования построена на решении дифференциальных уравнений с начальными и граничными условиями при фиксированных параметрах подвижной границы. В результате предложена модель, направленная на анализ начальных этапов тектонических изменений, которая может быть применена для выявления потенциально опасных, в сейсмическом отношении, зон.

Приведены результаты моделирования с помощью разработанного пакета программ и показан, что этот подход способен дополнить существующие методы наблюдения за динамикой земной кары. Показаны, что предложенные методы обеспечивают более высокую точность моделирования по сравнению с существующими аналогами и может быть использована как часть системы раннего предупреждения, способствуя повышению точности и заблаговременности прогнозирования масштабных сейсмических явлений. Это метод исследования, призванный предотвратить угрозы жизни человека.

Ключевые слова: численное моделирование, тектонические процессы, магматические потоки, землетрясения, сейсмическая активность, раннее предупреждение, сильновязкая жидкость, модель Рейнольдса, геофизика, вычислительная модель

Введение. Одним из приоритетных направлений науки были и остается изучение процессов, происходящих в земных недрах. Актуальность этих исследований связана, прежде всего, с жизнедеятельностью человечества. Изучение процессов, происходящих в недрах Земли с применением моделирования связано с трудностями, прежде всего, из-за скудности, порой недоступности, и сложности получения информации о глубинных процессах.

Во многих областях научных исследований существует потребность в решении задач, требующих высокой точности и невозможности проведения прямых наблюдений или лабораторных экспериментов. Это особенно актуально для процессов, протекающих в недоступных средах, таких как глубинные слои земной кары, где получение данных осложняется природными условиями и ограниченностью методов диагностики. «Общепризнанно, что при изучении многих сложных явлений нельзя ограничиваться только экспериментальными и аналитическими исследованиями. Быстрый рост производительности компьютеров в последние десятилетия стимулировал развитие вычислительного направления в механике жидкости вообще и для исследования проблем гидродинамических неустойчивостей, частности» (Kim et al, 2022)

В последнее десятилетие определились два главных направления исследований в науках о Земле – глубинная геодинамика и ранняя история Земли. В задачу глубинной геодинамики входит изучение физических и химических процессов, протекающих в недрах Земли ниже уровня 400 км, т.е. границы собственно верхней мантии, образующей вместе с корой тектоносферу – основную область проявления тектоники плит. Для решения этой задачи в настоящее время применяются три метода: сейсмическая томография, экспериментальная минералогия и математическое моделирование. Применение двух из них стало возможным с появлением современных суперкомпьютеров, а эксперименты над минералами в условиях давлений и температур, господствующих в мантийных глубинах, – с созданием

аппаратов, воспроизводящих эти термодинамические условия (Minaev et al, 2022)

О методе решения одной из таких сложных задач, связанных с истечением сильновязкой жидкости из щели, является темой данного исследования.

Представляет интерес и предлагается вычислительная модель «Тектонического процесса, происходящего в земных недрах», которая может быть использована как часть системы раннего предупреждения, способствуя повышению точности и заблаговременности прогнозирования масштабных сейсмических явлений.

Постановка задачи. Математическую модель данной задачи гидродинамики представляет собой квазилинейное уравнение параболического типа (Utkin, 2021)

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{ER}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left(\xi^3 \frac{\partial \xi}{\partial t} \right) + \begin{cases} y(t)(1-x^2), & \text{если } -1 \leq x \leq 1; \\ 0, & \text{если } -\infty < x < -1, 1 < x < +\infty \end{cases} \quad (1)$$

совместно с уравнением следующего вида

$$\int_0^{\rho(t)} \xi(x, t) dx = \frac{2}{3} \int_0^t y(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где: x – горизонтальная координата, t – время, $\xi(x, t)$ – верхняя свободная поверхность накапливаемой жидкости, $y(\tau)$ – наибольшая скорость истечения жидкости из щели, которая считается заданной, $x = \rho(t)$ – подвижная граница накапливаемой жидкости. Все параметры и уравнения являются безразмерными.

Перед нами поставлена задача: дать решение уравнений (1) и (2).

В этих уравнениях неизвестными являются две функции: $\xi(x, t)$ и $\rho(t)$. Для определения их значений заданы начальные условия:

$$t = 0, \rho(0) = 1, \xi(x, 0) = 0. \quad (3)$$

Для решения уравнения (1) должны быть заданы граничные условия, которые могут быть записаны в следующем виде:

$$x = 0, \quad \frac{\partial \xi(0, t)}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

$$x = \rho(t) \quad \xi(\rho(t), t) = 0. \quad (5)$$

Итак, требуется найти значения функций $\xi(x, t)$ и $\rho(t)$, удовлетворяющие уравнениям (1) и (2), начальным условиям (3) и граничным условиям (4) и

(5). Здесь возникает проблема, связанная с подвижностью границы области решения задачи. В связи с этим для решения этой задачи здесь предлагается метод конечных разностей с некоторыми допущениями.

Решение задачи числа Рейнольдса. Идея метода заключается в следующем:

для некоторого момента времени t находится решение задачи для уравнения в частных производных (1) с начальными и граничными условиями при фиксированных значениях подвижной границы, т.е. значения функции $\rho(t)$. Уравнение (1) решается методом конечных разностей. Затем определяется значение функции $\rho(t + \Delta t)$ из уравнения (2). Для перехода к следующему значению времени $t + \Delta t$ используется полученное значение функции $\rho(t + \Delta t)$ и решается уравнение (1). Такой итерационный процесс продолжается до окончания всего процесса вычислений.

В качестве расчетной схемы для решения уравнения в частных производных (1) используется неявная нелинейная схема (Вукотич и др., 2020):

$$\xi_{ij+1} = \xi_{ij} + \frac{\tau \cdot ER}{3h^2} \cdot \left\{ \left(\frac{\xi_{ij+1} + \xi_{i+1,j+1}}{2} \right)^3 \cdot (\xi_{i+1,j+1} - \xi_{ij+1}) - \left(\frac{\xi_{i-1,j+1} + \xi_{ij+1}}{2} \right)^3 \cdot (\xi_{ij+1} - \xi_{i-1,j+1}) \right\} + \{y_{j+1} \cdot (1 - x_i^2), \text{ если } 0 \leq i \leq k, \quad 0, \text{ если } k+1 \leq i \leq n.\} \quad (6)$$

Здесь: h – шаг по координате x ; $k = \frac{1}{h}$ – количество точек, где функция

$y(t) \neq 0$; τ – шаг по времени t ; $j = 0, 1, 2, \dots, m$.

Для вычисления значений функции $\rho(t)$ используется следующая рекуррентная формула:

$$\rho_{j+1} = \rho_j + \frac{2 \cdot (f_{j+1} - f_j)}{\xi_{j+1} + \xi_j}, \quad (7)$$

где значения f_j определяются из следующей формулы:

$$f(t) = \int_0^{\rho(t)} \xi(x, t) \cdot dx.$$

Анализ результатов решения задачи. Получена расчетная схема решения данной задачи, что позволило разрабатывать его алгоритм. Решение задачи осуществляется для каждого момента времени с учетом изменения границы области интегрирования. По методу прогонки решение данной задачи будет приближенным.

Для решения задачи об истечении сильновязкой жидкости в «узком канале» применен подход к моделированию указанного процесса и разработан соответствующий программный пакет. Разработанная объектная модель (рис.1) позволяет расширить возможности программного комплекса для мониторинга сейсмического состояния регионов.



Рисунок 1 – Объектная модель системы мониторинга сейсмического состояния региона.

Для работы с моделью разработан дружественный пользовательский интерфейс, позволяющий реализовать численные алгоритмы, обеспечивать интеграцию комплекса с существующими и используемыми программными продуктами.

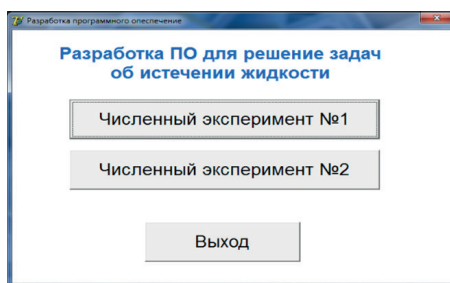


Рисунок 2 – Запуск программы и главный меню

Создание программы и численный эксперимент происходил по следующим пунктам:

- Наличие интерфейса для численного решения задачи;
- Класс для вывода результатов расчета;
- Модуль для построения графика по данным расчетов.

Данный модуль может также быть использован для масштабирования и сравнительного анализа нескольких графиков.

По разработанной программе был проведен численный эксперимент для различных вариантов данной задачи.

Численный эксперимент №1 – Тестирование и запуск программы для разных моментов ER. (По 1-му эксперименту проводилась тестирование для разных моментов ER)

Численный эксперимент № 2 – Тестирование и запуск программы для разных моментов времени t.

В данной расчетной схеме точность получаемых результатов зависит от выбранных шагов по времени и по координате. Здесь используется итерационный метод в целом и при решении уравнения (1).

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{ER}{3} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\xi^3 \frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + \begin{cases} y(x, t), & \text{если } x \in [-1, 1], \\ 0, & \text{если } x \notin [-1, 1] \end{cases} \quad (8)$$

Это новое полученное уравнение является квазилинейным дифференциальным уравнением частных производных второго порядка. Оно относится к уравнениям параболического типа.

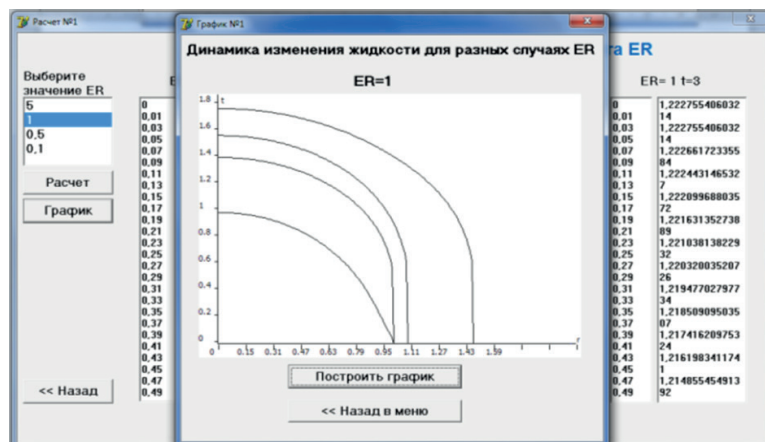
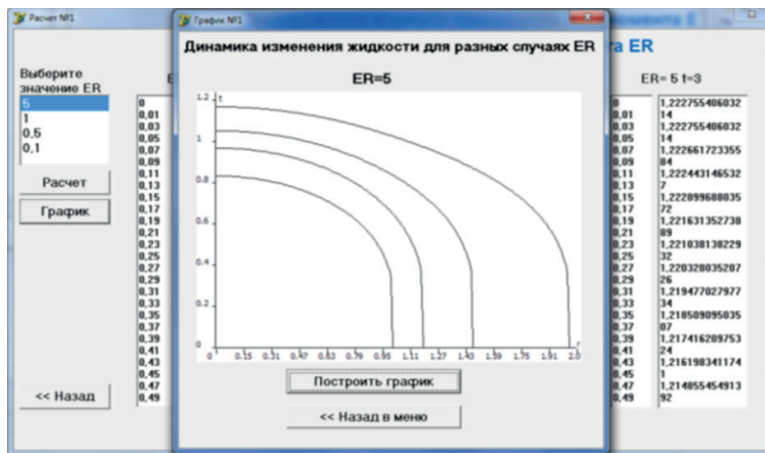
$$ER = \frac{\rho \cdot g \cdot r^3}{\mu \cdot U \cdot L}$$

Безразмерное число определяет характер движений в сильновязкой жидкости. После нескольких таких преобразований получена математическая модель задачи.

Численный эксперимент 1. Тестирование и запуск программы для моментов ER (Эксперимент №1) В численном эксперименте выбрано значения безразмерного параметра ER равным (ER-определяет характер движения сильновязкой жидкости)

Тестирование и запуск программы для момента ER				
Выберите значение ER	ER= 5 t=1	ER= 5 t=1.5	ER= 5 t=2	ER= 5 t=3
5	0,07109931724	0,01347178720	1,100756465976	1,222755406032
1	0,019529	0,01183	0,0161	0,0114
0.5	0,0307109931724	0,03101347178720	1,100756465976	1,222755406032
0.1	0,059529	0,05103	0,0561	0,0514
	0,0707091932234	0,07101331577240	1,100630894547	1,222661723355
	0,096861	0,09935	0,093	0,0984
	0,1107049918865	0,11101295163902	1,100337866202	1,222443146532
	0,137230	0,13067	0,1344	0,137
	0,15086983849319	0,15101237910232	1,099877276910	1,222099688035
	0,172248	0,17956	0,1706	0,1772
	0,19086893652657	0,19101159768745	1,099248942453	1,221631352738
	0,215165	0,21633	0,2132	0,2189
	0,23086779228832	0,23101060672676	1,098452598078	1,221038138229
	0,251747	0,25087	0,259	0,2532
	0,27086640440808	0,27100940535665	1,097467897956	1,220320035207
	0,297495	0,29193	0,2968	0,2926
	0,31086477149676	0,31100799251336	1,096354414448	1,219477027977
	0,33977	0,33338	0,3336	0,3334
	0,35086289141531	0,35100636692767	1,095051637181	1,218509095035
	0,375833	0,37151	0,3735	0,3707
	0,39086076198104	0,39100452711849	1,093578971925	1,217416209753
	0,415138	0,41847	0,4113	0,4124
	0,43085830059124	0,43100247138532	1,091935739260	1,216198341174
	0,456899	0,45413	0,4529	0,4547
	0,47085574427575	0,47100019779931	1,090121173840	1,214855454913
	0,497778	0,49224	0,4985	0,4992

Рисунок 3 – Тестирование для момента ER=5



Тестирование и запуск программы для момента ER

Выберите значение ER	ER= 0,5 t=1	ER= 0,5 t=1,5	ER= 0,5 t=2	ER= 0,5 t=3
5	0,91773057427	1,30417499613	1,458055633547	1,646692842513
1	0,01 1451	0,01 637	0,01 83	0,01 93
0,5	0,03 0,91773057427	0,03 1,30417499613	0,03 1,458055633547	0,03 1,646692842513
0,1	0,05 1451	0,05 637	0,05 83	0,05 93
	0,07 0,91738120853	0,07 1,30390605199	0,07 1,457802003181	0,07 1,646505222389
	0,09 4456	0,09 88	0,09 31	0,09 31
	0,11 0,91656576689	0,11 1,30327829738	0,11 1,457209990074	0,11 1,646067566760
	0,13 2564	0,13 766	0,13 78	0,13 59
	0,15 0,91528332586	0,15 1,30229109875	0,15 1,456279014183	0,15 1,64537957104
	0,17 7182	0,17 555	0,17 89	0,17 1,644441011336
	0,19 0,91353225109	0,19 1,30094339391	0,19 1,4550008115896	0,19 1,641810504508
	0,21 9001	0,21 973	0,21 67	0,21 1,643251493936
	0,23 0,91131018698	0,23 1,29923368497	0,23 1,453395950422	0,23 99
	0,25 80	0,25 928	0,25 77	0,25 1,641810504508
	0,27 0,90861404105	0,27 1,29716002817	0,27 1,451440779836	0,27 93
	0,29 4914	0,29 632	0,29 98	0,29 1,640117407019
	0,31 0,90543996276	0,31 1,29472002055	0,31 1,449140462665	0,31 11
	0,33 848	0,33 512	0,33 89	0,33 1,638171442365
	0,35 0,90178331653	0,35 1,29191078315	0,35 1,446492440863	0,35 36
	0,37 3267	0,37 975	0,37 75	0,37 1,635971726713
	0,39 0,89763864837	0,39 1,28872894051	0,39 1,443493724005	0,39 6
	0,41 3278	0,41 858	0,41 52	0,41 1,633517249532
	0,43 0,89299964577	0,43 1,28517059603	0,43 1,440140870435	0,43 62
	0,45 5188	0,45 523	0,45 86	0,45 1,630806871316
	0,47 0,88785909000	0,47 1,28123130285	0,47 1,436429965111	0,47 77
	0,49 8235	0,49 008	0,49 26	0,49 1,627839320985

Рисунок 5 – Тестирование для момента ER=0,5

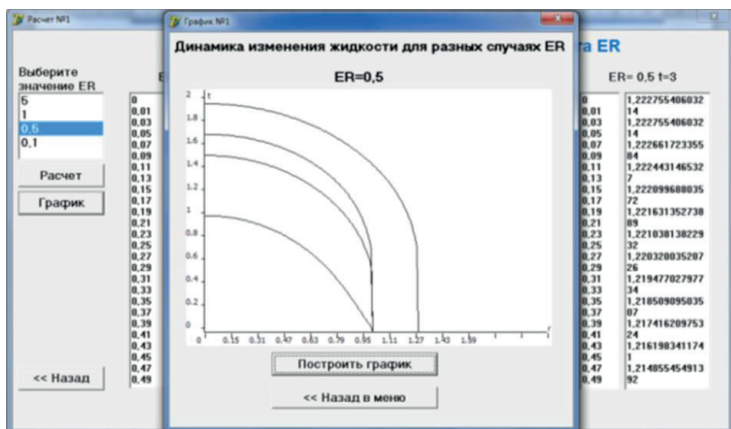


Рисунок 5.1 – Положение границы для случая ER=0,5

Тестирование и запуск программы для момента ER

Выберите значение ER	ER= 0,1 t=1	ER= 0,1 t=1,5	ER= 0,1 t=2	ER= 0,1 t=3
5	0,91773057427	1,30417499613	1,458055633547	1,646692842513
1	0,01 1451	0,01 637	0,01 83	0,01 93
0,5	0,03 0,91773057427	0,03 1,30417499613	0,03 1,458055633547	0,03 1,646692842513
0,1	0,05 1451	0,05 637	0,05 83	0,05 93
	0,07 0,91738120853	0,07 1,30390605199	0,07 1,457802003181	0,07 1,646505222389
	0,09 4456	0,09 88	0,09 31	0,09 31
	0,11 0,91656576689	0,11 1,30327829738	0,11 1,457209990074	0,11 1,646067566760
	0,13 2564	0,13 766	0,13 78	0,13 59
	0,15 0,91528332586	0,15 1,30229109875	0,15 1,456279014183	0,15 1,64537957104
	0,17 7182	0,17 555	0,17 89	0,17 1,644441011336
	0,19 0,91353225109	0,19 1,30094339391	0,19 1,4550008115896	0,19 1,641810504508
	0,21 9001	0,21 973	0,21 67	0,21 1,643251493936
	0,23 0,91131018698	0,23 1,29923368497	0,23 1,453395950422	0,23 99
	0,25 80	0,25 928	0,25 77	0,25 1,641810504508
	0,27 0,90861404105	0,27 1,29716002817	0,27 1,451440779836	0,27 93
	0,29 4914	0,29 632	0,29 98	0,29 1,640117407019
	0,31 0,90543996276	0,31 1,29472002055	0,31 1,449140462665	0,31 11
	0,33 848	0,33 512	0,33 89	0,33 1,638171442365
	0,35 0,90178331653	0,35 1,29191078315	0,35 1,446492440863	0,35 36
	0,37 3267	0,37 975	0,37 75	0,37 1,635971726713
	0,39 0,89763864837	0,39 1,28872894051	0,39 1,443493724005	0,39 6
	0,41 3278	0,41 858	0,41 52	0,41 1,633517249532
	0,43 0,89299964577	0,43 1,28517059603	0,43 1,440140870435	0,43 62
	0,45 5188	0,45 523	0,45 86	0,45 1,630806871316
	0,47 0,88785909000	0,47 1,28123130285	0,47 1,436429965111	0,47 77
	0,49 8235	0,49 008	0,49 26	0,49 1,627839320985

Рисунок 6 –Тестирование для момента ER=0,1

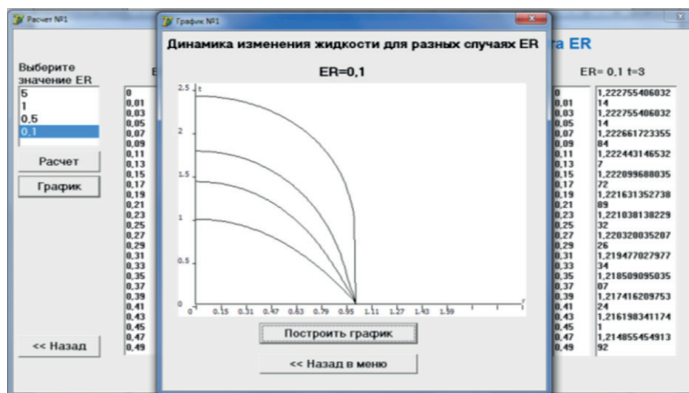


Рисунок 6.1 – Положение границы для случая $ER=0,1$

Численный эксперимент 2. Тестирование и запуск программы для разных моментов времени(t) (Эксперимент №2) Расчет проводился для значения t=1 t=1.5 t=2 t=3.



Рисунок 7 –Тестирование для моментов времени $t=1$

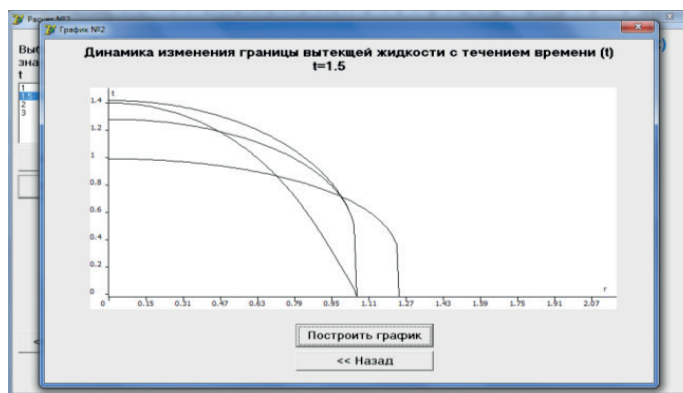


Рисунок 7.1 – Положение свободной границы жидкости в момент времени $t=1$

Рисунок 8 – Тестирование для моментов времени $t=1,5$

Тестирование и запуск программы для момента разных времен (t)

Выберите значение t	t=1.5 ER=0.5	t=1.5 ER=0.1	t=1.5 ER=1	t=1.5 ER=5
1	0.01	1.01347178720	1.30417499613	1.42377295813
2	0.03	183	637	75
3	0.05	1.01331577248	1.30390605199	1.423137942122
	0.07	935	80	3
	0.09	1.01295163902	1.30327829730	1.421656038483
	0.11	867	766	18
	0.13	1.01237910232	1.30229109075	1.419325907911
	0.15	955	555	98
	0.17	1.01159768745	1.30094338391	1.416145320168
	0.19	633	973	29
	0.21	1.01060672676	1.29923368497	1.412110349840
	0.23	807	826	55
	0.25	1.00940535665	1.29716002817	1.407216156740
	0.27	193	632	06
	0.29	1.00799251336	1.29472002055	1.401455558414
	0.31	338	512	9
	0.33	1.00636892767	1.29191078315	1.394824074492
	0.35	151	975	38
	0.37	1.00452711849	1.28872894051	1.387309802454
	0.39	847	859	08
	0.41	1.00247138532	1.28517058603	1.378903764337
	0.43	413	523	09
	0.45	1.00019779931	1.28123130285	1.369594043739
	0.47	224	808	77
	0.49	0.99770419303	1.27690602963	1.359367512384
	0.51	8046	115	84

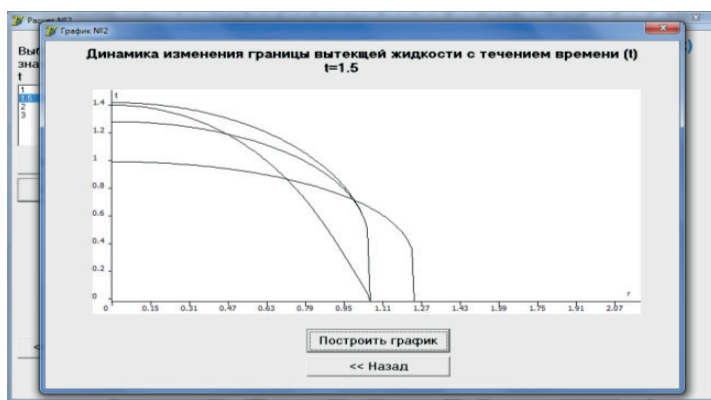
Рисунок 8 – Тестирование для моментов времени $t=1,5$ Рисунок 8.1 – Положение свободной границы жидкости в моменте времени $t=1,5$

Рисунок 9 – Тестирование для моментов времени $t=2$

Тестирование и запуск программы для момента разных времен (t)

Выберите значение t	t=2 ER=0.5	t=2 ER=0.1	t=2 ER=1	t=2 ER=5
1	0.01	1.10075646597	1.45805563354	1.778861947019
2	0.03	661	783	36
3	0.05	1.10063089454	1.45780200318	1.778263684748
	0.07	73	131	12
	0.09	1.10033786620	1.45720999007	1.776867231226
	0.11	244	478	57
	0.13	1.09987727691	1.45627901418	1.774670937525
	0.15	806	389	43
	0.17	1.09924894245	1.45500811589	1.771671957386
	0.19	332	667	07
	0.21	1.09845259807	1.45339595042	1.767866228283
	0.23	88	277	51
	0.25	1.09748789795	1.45144077983	1.763248443459
	0.27	668	698	28
	0.29	1.09635441444	1.44914046266	1.757812014470
	0.31	836	509	76
	0.33	1.09505163718	1.44649244086	1.751549023634
	0.35	155	375	93
	0.37	1.09357897192	1.44349372400	1.744450165557
	0.39	513	552	23
	0.41	1.09193573926	1.44014087043	1.736504676723
	0.43	829	506	69
	0.45	1.09012117304	1.43642996511	1.727700251889
	0.47	885	126	45
	0.49	1.08813441863	1.43235659379	1.718002945709
	0.51	501	87	86

Рисунок 9 – Тестирование для моментов времени $t=2$

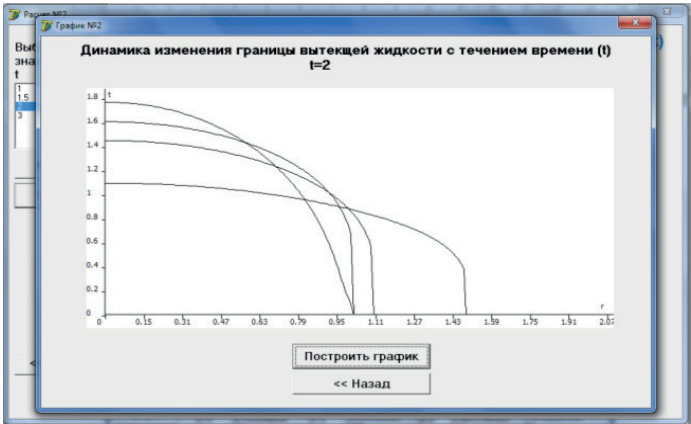


Рисунок 9.1 – Положение свободной границы жидкости в моменте времени $t=2$

Тестирование и запуск программы для момента разных времен (t)

Выберите значение t	t=3 ER=0.5	t=3 ER=0.1	t=3 ER=1	t=3 ER=5
0.01	1.22275540603	1.64668284251	1.865138387825	2.418307471459
0.03	214	393	25	42
0.05	1.22266172335	1.64650527238	1.864884037096	2.417835850316
0.07	584	931	28	43
0.09	1.22244314653	1.64606756676	1.864290435586	2.416734966570
0.11	27	059	67	03
0.13	1.22209968803	1.64537957104	1.863357229373	2.415003604850
0.15	572	1.64444101133	93	16
0.17	1.22163135273	645	1.862083818577	2.412639748548
0.19	888	1.64325149393	27	25
0.21	1.22103813822	699	1.860469355122	2.409640565672
0.23	932	1.64181050450	92	47
0.25	1.22032003520	093	1.858512739522	2.406802388761
0.27	726	1.64011740701	48	71
0.29	1.21947702797	911	1.856212616634	2.401720688526
0.31	734	1.63817144236	3	05
0.33	1.21850809503	538	1.853567370367	2.396798040771
0.35	507	1.63597172671	99	29
0.37	1.21741620975	36	1.850575117281	2.391204086041
0.39	324	1.63351724953	52	71
0.41	1.21619834117	262	1.847233699008	2.384955401274
0.43	41	1.63080687131	96	32
0.45	1.21485545491	677	1.843540673444	2.378035842595
0.47	392	1.62783932098	43	16
0.49	1.21338751418	509	1.839493304593	2.370435678197
0.51	762	1.62461318294	82	21

Рисунок 10 –Тестирование для моментов времени $t=3$

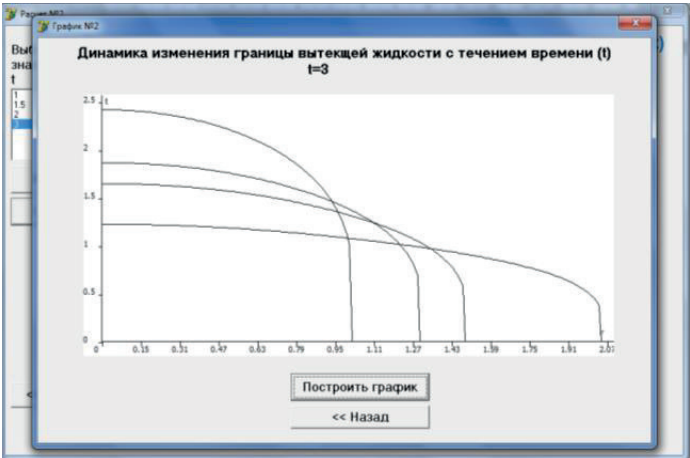


Рисунок 10.1 – Положение свободной границы жидкости в моменте времени $t=3$

Результаты эксперимента показали, что жидкость с меньшей вязкостью растекается в горизонтальном направлении быстрее, чем жидкость с большей вязкостью. Эти данные показаны в Таблице 1.

Таблице 1 – Положение точки пересечения границы жидкости с горизонтальной осью

t	ER=0.1	ER=0.5	ER=1	ER=5
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.05	1.00	1.00	1.00	1.03
1.10	1.00	1.00	1.00	1.05
1.25	1.00	1.00	1.00	1.15
1.50	1.00	1.00	1.00	1.33
1.80	1.00	1.00	1.01	1.51
1.85	1.00	1.00	1.05	1.55
1.90	1.00	1.00	1.06	1.59
2.00	1.00	1.00	1.07	1.65
2.20	1.00	1.03	1.15	1.79
2.25	1.00	1.03	1.17	1.81
2.50	1.00	1.11	1.27	1.97
3.00	1.00	1.27	1.45	2.27

Если сравнивать данные, что жидкость с меньшей вязкостью растекается в горизонтальном направлении быстрее (Таблица 3.4), чем жидкость с большей вязкостью (Таблица 3.1). Так и должно быть, это подтверждает правильность решения задачи.

Для сравнительного анализа целесообразно рассматривать наибольшее поднятие свободной поверхности истекшей жидкости, т.е. сравнивать для различных случаев максимальные значения функции $z = \xi(x, t)$. Для этого сделана выборка наибольших значений этой функции для различных значений параметра ER .

Сравнение данных, приведенных в таблице 3.5, показывает, что жидкость с большим значением коэффициента динамической вязкости поднимается вверх на большую «высоту», чем жидкость с меньшим коэффициентом вязкости. Это означает, что вязкая жидкость с большим динамическим коэффициентом вязкости ведет себя как «твердое тело» до определенного момента времени.

Другим доказательством того, что жидкость с меньшей вязкостью растекается в горизонтальном направлении быстрее, чем жидкость с большей вязкостью, являются следующие данные (Таблица 3.6), которые показывают положение границы вытекшей жидкости в горизонтальном направлении для различных значений числа ER . В данной таблице 3.6 показано, что первоначальная граница жидкости считалась совпадающей с границей щели, т.е. равна 1.

Таблица 2 –Наибольшие значения функции $z=\xi(x, t)$

t	ER=5	ER=1	ER=0.5	ER=0.1
0.50	0.4704	0.4958	0.4977	0.4994
1.00	0.7771	0.9178	0.9497	0.9868
1.05	0.7966	0.9520	0.9889	1.0336
1.10	0.8120	0.9847	1.0269	1.0797
1.25	0.8494	1.2078	1.3330	1.2144
1.50	0.8969	1.3042	1.4421	1.4238
1.80	0.9429	1.3929	1.5563	1.6471
1.85	0.9495	1.4137	1.5725	1.6813
1.90	0.9560	1.4316	1.5877	1.7146
2.00	0.9694	1.4581	1.6156	1.7789
2.20	0.9937	1.5061	1.6812	2.1379
2.25	0.9992	1.5162	1.6953	2.1595
2.50	1.0254	1.5665	1.7658	2.2596
3.00	1.0725	1.6467	1.8651	2.4183

В этой таблице показано сравнительный анализ наибольшее поднятие свободной поверхности истекшей жидкости. Она определяет границу вытекшей вязкой жидкости, для различных моментов времени

Положение точки пересечения поверхности вытекшей жидкости с горизонтальной осью для различных моментов времени и для различных значений числа ER показаны в следующей таблице 3.

Таблица 3 – Положения точки пересечения границы вытекшей жидкости с горизонтальной осью

t	1,0	1,5	2,0	3,0
ER=0,1	1,00	1,00	1,00	1,00
ER=0,5	1,00	1,00	1,00	1,27
ER=1	1,00	1,00	1,07	1,45
ER=5	1,00	1,33	1,65	2,27

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Предложена модель и выбран метод решения для описания механизма поднятия глубинных мантийных веществ в виде истечения жидкой магмы из узкого канала. Предложенный механизм организации мониторинга уровня жидкости в глубинных скважинах, являются входными параметрами для моделирования сейсмического состояния региона, так как в результате моделирования тектонических процессов, определяется поток жидкости на основе чего делается вывод о возможном землетрясении в регионе.

2. Получена расчетная схема решения данной задачи, что позволила разрабатывать алгоритм его решения.

3. Проведен анализ методов решения дифференциальных уравнений в частных производных, получаемых при моделировании рассматриваемых движений в недрах Земли.

4. Проведен анализ механизмов построения пакетов программ, необходимых для решения поставленных задач.

Предложенные методы обеспечивают более высокую точность моделирования по сравнению с существующими аналогами и может быть использована как часть системы раннего предупреждения, способствуя повышению точности и заблаговременности прогнозирования масштабных сейсмических явлений.

Результаты моделирование процесса извержения магмы представляют ценную информацию для наблюдающих за изменением структуры Земной коры, быстрого обнаружения сильных землетрясений и предупреждений пользователей как землетрясение достигнет до их местоположения.

Литература

Ким А.С., Шпади Ю.Р., Литвинов Ю.Г. (2022) Математическое моделирование нестационарных процессов в сейсмоактивной зоне, Динамические процессы в геосферах, т. 14. — № 1. — С. 69–84.

Уткин И.С. (2021) Математическое моделирование течений магмы и вулканических газов, Москва: 130 с.

В.Г. Быков, Н.В.Шестков, М.Д. Герасименко, А.А. Сорокин, А.В. Коновалов, А.С. Прытков, Н.Ф. Василенко, Д.А. Сафонов, А.Г. Коломиец, М.А. Серов, В.В. Пупатенко, С.П. Королев, А.Л. Верхотуров, В.С. Жижерин, К.С. Рябинкин (2020) Единая сеть геодинамических наблюдений ДВО РАН: становление, десять лет развития, основные достижения, Вестник ДВО РАН, 2020. — № 3. — С. 5-23.

Минаев В.А., Степанов Р.О. (2022) Моделирование напряженно-деформированного состояния геологической среды при строительстве (часть 2), Москва: 10 (1). — С.1-16.

И.С.Стародубцев., И.А.Цепелев. (2022) Численное моделирование эволюции лавового купола на вулкане колима vol и sph методами, Вычислительная механика сплошных сред, Т. 15. — № 3. 2022. — С.263-273.

Колтовой Н. А. (2020) Стандартные методы прогнозирования землетрясений, Книга 11. Часть 5-05. Предсказание землетрясений, Москва: С. 3-8.

Ю.В. Стародубцева, И.С. Стародубцева, А.Т. Исмаил-Задеа, И.А. Цепелева, О.Э. Мельника, А.И. (2021) Короткий, Методика оценки вязкости магмы по морфологии лавового купола, Вулканология и сейсмология, Москва: № 3. —С. 8-28.

Куралбаев З.К, Таурбекова А.А. (2013) Механика-математическая модель мантийного диапризма «Известия Национальной академии наук Республики Казахстан». Серия физико-математическая. — №2 (288). — С. 170-180. (In Russian)

Куралбаев З.К, Таурбекова А.А. (2015) Исследование задачи об отпускании куполовидного поднятия поверхности земной коры «Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан», Серия физико-математическая. — №1. — С.77-79.

Куалбаев З.К., Таурбекова А.А. (2015) Математическая модель истечения сильновязкой жидкости из конца узкого канала «Доклады Известия Национальной академии наук Республики Казахстан», Серия физико-математическая. — № (2). — С. 46-50.

Куралбаев З.К., Таурбекова А.А. (2015) Численный метод решения задачи об истечении из «канала» сильновязкой жидкости «Вестник КазНТУ им. К.И.Сатпаева». — №6 (112). — С. 431-436.

Kuralbayev Z.K., Zhantleyov K.K., Kozhamberdieva M.I., Taurbekova A.A. (2015) Mechanical-

mathematical model of mantle diapirism Research Journal of Applied Sciences, Medwel Journals, Pakistan, Islamabad, SJR 2014: 0.123 (Scopus), № 10(2). — V.0. — ISS.2. — P.40-48.

Куралбаев З.К., Таурбекова А.А. (2015) Численное моделирование процесса истечения сильновязкой жидкости из «узкого канала» Вестник КазАТК имени М.Тынышпаева. Серия автоматика, телемеханика, связь, электроэнергетика, информационные системы. — №2-3. — С.123-132.

References

Kim A.S., Shpadi Yu.R., Litvinov Yu.G. (2022) Matematicheskoe modelirovanie nestacionarnyh processov v sejsmoaktivnoj zone, Dinamicheskie processy v geosferah [Mathematical modeling of non-stationary processes in a seismically active zone, Dynamic processes in the geosphere], V. 14. — Iss 1. — P. 69–84. (In Russ).

Utkin I.S. (2021) Matematicheskoe modelirovanie techenij magmy i vulkanicheskikh gazov [Mathematical modeling of magma and volcanic gas flows], Moscow: 130 p. (In Russ).

V.G. Bykov, N.V. Shestkov, M.D. Gerasimenko, A.A. Sorokin, A.V. Kononov, A.S. Prytkov, N.F. Vasilenko, D.A. Safonov, A.G. Kolomiets, M.A. Serov, V.V. Pupatenko, S.P. Korolev, A.L. Verkhoturov, V.S. Zhizherin, K.S. Ryabinkin (2020) Edinaya set geodinamicheskikh nablyudenij DVO RAN: stanovlenie, desyat let razvitiya, osnovnye dostizheniya [The Unified Geodynamic Observation Network of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences: Formation, Ten Years of Development, and Key Achievements], Bulletin of the Far Eastern Branch of RAS. — № 3. — P. 5-23. (In Russ).

Minaev V.A., Stepanov R.O. (2022) Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya geologicheskoy sredy pri stroitelstve (chast 2) [Modeling the stress-strain state of the geological environment during construction (part 2)], Moscow: 10 (1). — C.1-16. (In Russ)

I.S.Starodubtsev, I.A.Tsepelev. (2022) Chislennoe modelirovanie evolyucii lavovogo kupola na vulkane kolima vof i sph metodami, Vychislitelnaya mehanika sploshnyh sred [Numerical modeling of the evolution of a lava dome on Colima volcano using the VOF and SPH methods, Computational Continuum Mechanics]. — V. 15, Iss 3. — P. 263-273. (In Russ).

Koltovoy N. A. (2020) Standard methods for predicting earthquakes, Book 11. Part 5-05. Earthquake prediction, Moscow. — P. 3-8. (in Eng).

Yu.V. Starodubtseva, I.S. Starodubtseva, A.T. Ismail-Zadea, I.A. Tsepeleva, O.E. Melnik, A.I. (2021) Korotkij, Metodika ocenki vyazkosti magmy po morfologii lavovogo kupola, Vulkanologiya i sejsmologiya [Short, Methodology for Estimating Magma Viscosity Based on Lava Dome Morphology, Volcanology and Seismology], Moscow: Iss 3. — P. 8-28. (In Russ).

Kuralbaev Z.K., Taurbekova A.A. (2013) Mehanika-matematicheskaya model mantijnogo diaprizma «Izvestiya Nacionalnoj akademii nauk Respubliki Kazahstan» [Mechanics and mathematical model of a mantle diapirism “Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan”]. Series of physics and math.. №2 (288). —P. 170-180. (In Russ).

Kuralbaev Z.K., Markosyan M.V., Sayadyan A.S., Taurbekova A.A. (2014) Organizaciya monitoringa zemnoj kory dlya ocenki sejsmicheskogo sostoyaniya s ispolzovaniem setej datchikov razlichnogo naznacheniya. Trudy mezhdunarodnogo foruma «Inzhenernoe obrazovanie i nauka v 21 veke: PROBLEMY I PERESPEKTIVY» posvyashennogo 80-letiyu KAZNTU imeni K.I.Satpaeva [Organizing Earth's Crust Monitoring for Seismic Assessment Using Networks of Sensors for Various Purposes. Proceedings of the International Forum "Engineering Education and Science in the 21st Century: Challenges and Prospects" dedicated to the 80th Anniversary of KazNRTU named after K.I. Satpayev]. — V.2. – Almaty. — P. 452-455. (In Russ).

Kuralbaev Z.K., Taurbekova A.A. (2015) Issledovanie zadachi ob otpuskanii kupolovidnogo podnyatiya poverhnosti zemnoj kory «Vestnik Nacionalnoj akademii nauk Respubliki Kazahstan» [Study of the problem of releasing a dome-shaped uplift of the earth's crust surface “Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan”]. — P.77-79. (In Russ).

Kualbaev Z.K., Taurbekova A.A. (2015) Mathematical model of the outflow of a highly viscous

liquid from the end of a narrow channe. "Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan", № (2). — P. 46-50. (in Eng).

Kuralbaev Z.K., Taurbekova A.A. (2015) Chislennyj metod resheniya zadachi ob istechenii iz «kanala» silnovyazkoj zhidkosti Chislennyj metod resheniya zadachi ob istechenii iz «kanala» silnovyazkoj zhidkosti Chislennyj metod resheniya zadachi ob istechenii iz «kanala» silnovyazkoj zhidkosti [A numerical method for solving the problem of the outflow of a highly viscous liquid from a "channel"] «Bulletin of Satbayev University». — №6 (112). — P. 431-436. (In Russ).

Kuralbayev Z.K., Zhantleyov K.K., Kozhamberdieva M.I., Taurbekova A.A. (2015) Mechanical-mathematical model of mantle diapirism Research Journal of Applied Sciences, Medwel Journals, Pakistan, Islamabad, SJR 2014: 0.123 (Scopus), № 10(2). — V.0. — ISS.2. — P. 40-48. (in Eng).

Kuralbaev Z.K., Taurbekova A.A. (2015) Chislennoe modelirovanie processa istecheniya silnovyazkoj zhidkosti iz «uzkogo kanala» [Numerical simulation of the flow of a highly viscous fluid from a "narrow channel"] Bulletin of the M. Tynyshpayev Kazakh ATC. Series: Automation, Telemetry, Communications, Electric Power, and Information Systems. — No. 2-3. — P. 123-132. (In Russ).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

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 journals of the Central Asian Academic Research Center LLP 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 Central Asian Academic Research Center LLP 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 Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере: *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 22.12.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная.

Печать –ризограф. 20,0 п.л. Заказ 4.