

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



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»
ЧФ «Халық»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

SERIES
PHYSICS AND INFORMATION TECHNOLOGY

3 (347)

JULY – SEPTEMBER 2023

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»!**

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), **Н-5**

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы, ақпараттық жүйелер мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D), ҚР БҒМ Ғылым комитеті «Ақпараттық және есептеуші технологиялар институты» РМК жауапты хатшысы (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

QUEVEDO Nemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), **Н=26**

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика және информатика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика және ақпараттық коммуникациялық технологиялар сериясы.*

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

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

Тиражы: *300 дана.*

Редакцияның мекен-жайы: *050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19*

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимжаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, доктор философии (PhD) по специальности Информационные системы, ответственный секретарь РГП «Института информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=10**

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тлексабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), **Н=26**

«Известия НАН РК. Серия физика и информатики».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан **№ 16906-Ж** выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *серия физика и информационные коммуникационные технологии.* В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных ККСОН МОН РК по направлению «информационные коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раз в год.*

Тираж: *300 экземпляров.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*

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

EDITOR IN CHIEF:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

MAMYRBAYEV Orken Zhumazhanovich, Ph.D. in the specialty "Information systems, executive secretary of the RSE "Institute of Information and Computational Technologies", Committee of Science MES RK (Almaty, Kazakhstan) **H=5**

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), **H=3**

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland), **H=23**

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), **H=28**

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), **H=5**

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=26**

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), **H=42**

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=12**

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), **H=26**

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Series of physics and informatics.

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 periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. 16906-ЖК**, issued 14.02.2018
Thematic scope: *series physics and information technology.*

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

Periodicity: *4 times a year.*

Circulation: *300 copies.*

Editorial address: *28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

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

NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES
ISSN 1991-346X
Volume 3. Number 347 (2023). 176–192
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1726.212>

УДК 55. ББК 26.34

© **A.A. Taurbekova**^{1*}, **O.Zh. Mamyrbayev**², **B.T. Karymsakova**³,
B. Zh. Zhumazhanov⁴, 2023

¹Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev,
Almaty, Kazakhstan;

²Institute of Information and Computing Technologies, Almaty, Kazakhstan;

³Taraz Regional University named after M.H. Dulaty, Taraz, Kazakhstan;

⁴Institute of Information and Computing Technologies, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: ainura_071@mail.ru

INVESTIGATIONS OF MAGMA OUTPUT PROCESS

Mamyrbayev Orken Zhumazhanovich — PhD, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan

E-mail: morkenj@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8627-1949>;

Taurbekova Ainur Adilgaziievna — doctoral student of Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

E-mail: ainura_071@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Karymsakova Balnur Tleetaevna — lecturer of Taraz Regional University named after M. H. Dulaty, Taraz, Kazakhstan

E-mail: tz-tek1@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9863-7654>;

Zhumazhanov Bagashar Zhumazhanovich — candidate of technical sciences, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan

E-mail: bagasharj@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5035-9076>.

Abstract. The article presents methodological tools for the study of numerical simulation of the process of magma outflow coming through a "narrow channel" from the Earth's interior. The result of a numerical experiment for various parameters of outflowing magma from a "narrow channel" is shown. Based on the results of the experiment, conclusions were drawn about the process of raising heated magma from the lower layers of the Earth. This emphasis makes it possible to reveal a certain originality and scientific novelty in the development of methods for studying seismic shock processes. And the development of methods, in turn, made it possible to obtain new scientific results, which are also presented in this article.

Keywords: complex process, asthenosphere, lithosphere, mantle flow, magma, Navier-Stokes equations, Reynolds number, mathematical model, numerical experiment, plume, seismic shock processes

© А.Ә. Таурбекова¹, Ө.Ж. Мамырбаев², Б.Т. Қарымсақова³,
Б.Ж. Жұмажанов⁴, 2023

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы, Қазақстан;

²Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

³М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті оқытушысы,
Тараз, Қазақстан;

⁴Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан.
E-mail: ainura_071@mail.ru

МАГМАНЫҢ ШЫҒУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Мамырбаев Өркен Жұмажанұлы – PhD, Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан

E-mail: morkenj@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-8627-1949>;

Таурбекова Айнұр Әділғазықызы Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің докторанты, Алматы, Қазақстан

E-mail: ainura_071@mail.ru , <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Қарымсақова Балнұр Тлетайқызы – М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университетінің оқытушысы, Тараз, Қазақстан

E-mail: tz-tek1@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0008-9863-7654>;

Жұмажанов Бағашар Жұмажанұлыт – техника ғылымдарының кандидаты, Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан

E-mail: bagasharj@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5035-9076> .

Аннотация. Мақалада Жердің ішкі бөлігінен «тар арна» арқылы келетін магманың шығу процесін сандық модельдеуді зерттеудің әдістемелік құралдары ұсынылған. «Тар арнадан» ағып жатқан магманың әртүрлі параметрлері бойынша сандық тәжірибенің нәтижесі көрсетілген. Тәжірибе нәтижелері бойынша Жердің төменгі кабаттарынан қыздырылған магманың көтерілу процесі туралы қорытындылар жасалды. Бұл екпін сейсмикалық сілкініс процестерін зерттеу әдістерін әзірлеуде белгілі бір ерекшелік пен ғылыми жаңалықты ашуға мүмкіндік береді. Ал әдістердің дамуы, өз кезегінде, осы мақалада да берілген жаңа ғылыми нәтижелерді алуға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: күрделі процесс, астеносфера, литосфера, мантия ағыны, магма, Навье-Стокс теңдеулері, Рейнольдс саны, математикалық модель, сандық тәжірибе, шлейф, сейсмикалық соққы процестері

© А.А. Таурбекова^{1*}, О.Ж. Мамырбаев², Б.Т. Карымсакова³,
Б.Ж. Жумажанов⁴, 2023

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

²«Институт информационных и вычислительных технологий»,
Алматы, Казахстан;

³Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати, Тараз, Казахстан;

⁴«Институт информационных и вычислительных технологий»,
Алматы, Казахстан.

E-mail: ainura_071@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ МАГМЫ

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: morkenj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8627-1949>;

Таурбекова Айнура Адилгазыевна — докторант Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

E-mail: ainura_071@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Карымсакова Балнур Глетаевна — преподаватель Таразского регионального университета имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

E-mail: tz-tek1@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9863-7654>;

Жумажанов Багашар Жумажанович — кандидат технических наук, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: bagasharj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5035-9076>.

Аннотация. В статье приведен методический инструментарий исследования, численное моделирование процесса истечения магмы, поступающих по «узкому каналу» из недр Земли. Показан результат численного эксперимента для различных параметров истекающей магмы из «узкого канала». По результатам эксперимента сделаны выводы о процессе поднятия разогретой магмы из нижних слоев Земли. Такой акцент позволяет выявить определенную оригинальность и научную новизну в развитии методов исследования процессов сейсмического толчка. А развитие методов, в свою очередь, позволило получить новые научные результаты, которые также приводятся в настоящей статье.

Ключевые слова: сложный процесс, мантийный поток, магма, уравнения Навье - Стокса, число Рейнольдса, математическая модель, процессов сейсмического толчка

Введение

Известно, что одной из проблем в научных исследованиях является изучение сложных процессов, происходящих в земных недрах. Многообразие этих процессов и причин их возникновения требуют использования различных

способов их исследования. Однако, во многих случаях экспериментальные или аналитические исследования связаны с известными трудностями из-за сложности рассматриваемых явлений.

«Общепризнанно, что при изучении многих сложных явлений нельзя ограничиваться экспериментальными и аналитическими исследованиями. Применение компьютерной техники и технологии для решения сложных задач, особенно когда они не имеют простых решений, предполагает поиск численных методов и создания эффективных алгоритмов и программ для их реализации. Использование численных моделей позволяет избавиться от побочных факторов и сконцентрироваться на главном, что бывает нелегко достичь в реальном эксперименте» (Белоцерковский и др., 2008: 512). Поэтому для решения задач, получаемых в результате моделирования рассматриваемого здесь процесса истечения сильновязкой жидкости, может быть использован численный метод.

Предполагается, что движение рассматриваемой здесь жидкости описывается уравнениями Навье - Стокса при очень малых числах Рейнольдса. Для решения задачи, сформулированной для полученных уравнений, используется конечно-разностный метод, применительно для данной задачи.

Из геологических исследований известно, что одной из главных причин структурообразования в недрах Земли является процесс поднятия магмы из нижних слоев Земли. По данным этих исследований (Кузьмин и др., 2016: 11–30; Добрецов и др., 2001: 409), в результате истечения мантийных веществ из нижележащей мантии в астеносфере возникает т.н. плюмы. «Плюмы на поверхности Земли проявляются в виде излияния расплавленной магмы переменного, но обычно щелочного состава» (Добрецов и др., 2001: 409). Возникновение плюма под литосферой является причиной многих явлений, происходящих в земной коре, как вулканизм, сейсмичность и других, оказывающих влияние на структурообразование в верхних слоях Земли (Kyung и др., 2010: 2539–2550).

В связи с этим исследования по направлению изучения явлений, связанных с данным процессом поднятия мантийных веществ и их излияния, являются *актуальными* и имеют важное теоретическое и практическое значение для изучения таких катастрофических явлений как землетрясения, вулканизм и другие.

Сложность изучения этих явлений и недоступность большинства достоверных сведений о процессах, происходящих в глубинных недрах Земли, заставляют исследователей использовать методы математического и компьютерного моделирования.

На основе полученной математической модели поставлена следующая математическая задача, в результате решения которой должны быть определены:

- закон изменения области, образованной вытекающей из «узкого» канала жидкостью;

- движения веществ, составляющих астеносферу;
- напряженное состояние вышележащей литосферы.

Постановка задачи. Пусть под некоторой горизонтальной поверхностью имеется «источник», конец «узкого канала», из которого поступает на эту поверхность вещества, имеющие свойства сильновязкой жидкости. «Источник» представляет собой некоторую щель, из которой вытекает сильновязкая жидкость с некоторой заданной скоростью.

Требуется определить движение этой жидкости после истечения из щели, а затем определить область, которую она будет занимать с течением времени.

«Источник» может быть любой формы. С целью упрощения задачи можно считать, что она является круглой с определенным радиусом r , а также рассматривать задачу в двумерной системе координат xOz , в которой ось z направлена вверх, обратно направлению вектора силы тяжести \underline{g} (Рисунок 1). Начало системы координат O находится в середине (центра) «источника».

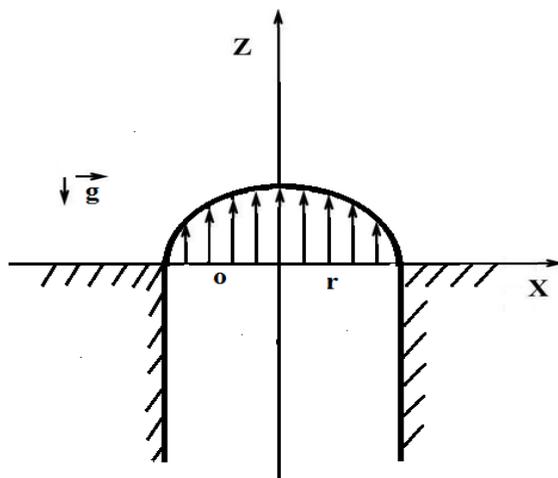


Рисунок 1 – Система координат и конец «узкого канала»

В результате математического моделирования процесса истечения магматических веществ из «узкого канала» в верхней мантии Земли, получена математическая задача о решении следующего квазилинейного неоднородного уравнения параболического типа (Лобковский, 2016: 11–30; Куралбаев, 2008: 212): и конец

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

Здесь:

x - горизонтальная координата;

t – время;

$u = u(x, t)$ – искомая функция, описывающая свободную поверхность области, занимаемой вытекающей из «канала» жидкостью;

$v(t)$ – скорость вытекающей из «канала» жидкости в центре сечения;
 $ER = \frac{\rho g H^3}{\eta u \tau}$ – безразмерный параметр, зависящий от характерных величин:
 H – горизонтальный и τ – вертикальный размеры рассматриваемой области,
 u – характерная скорость, ρ – плотность, η – динамический коэффициент вязкости жидкости, g – ускорение силы тяжести.

В уравнении (1) все величины являются безразмерными. Для решения его используются условия, вытекающие из сущности постановки задачи.

Начальное условие (при $t=0$) имеет следующий вид:

$$t = 0, u(x, 0) = 0. \quad (2)$$

Граничные условия могут быть заданы с учетом симметрии относительно вертикали:

$$x = 0, \frac{\partial u(0,t)}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

$$x = \rho(t), u(\rho(t), 0) = 0. \quad (4)$$

Здесь: $\rho(t)$ – неизвестная функция, описывающая изменение правой границы области, занимаемой жидкостью. Эта функция является неизвестной, она может быть определена следующей формулой:

$$\int_0^{\rho(t)} u(x,t) dx = \frac{3}{2} \int_0^t v(t) dt. \quad (5)$$

Если будет задана скорость $v(t)$, то правая часть этой формулы (5) может быть определена интегрированием. Следует учесть, что в начальный момент времени,

$$\text{при } t = 0, \rho(0) = 0. \quad (6)$$

Итак, здесь требуется решить задачу (1) - (4) для уравнения параболического типа с учетом формул (5) и (6). В данном случае необходимо решить фактически две задачи:

- найти функцию $\rho(t)$, определяющую границу области, занимаемой жидкостью;
- найти функцию $u(x,t)$, удовлетворяющую уравнению (1) и условиям (2) - (4).

Метод решения. Идея метода решения данной задачи заключается в следующем. Для некоторого момента времени находится решение задачи (1) - (4) методом конечных разностей. Для перехода к следующему значению времени $t+\Delta t$ должно быть найдено значение функции $\rho(t+\Delta t)$. Затем решается задача (1) - (4) для нового значения $\rho(t+\Delta t)$ и т.д.

Пусть вначале рассматривается расчетная схема для решения задачи (1) - (4) методом конечных разностей. Предполагая, что значение функции

(t) для конкретного значения аргумента t фиксированным, используется неявная нелинейная расчетная схема (Тихонов и др., 1977: 736). Выбрав шаги разбиения по аргументам: по t – τ , а по x – h, можно записать следующие формулы, заменяющие производные искомой функции конечно – разностными соотношениями:

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u_{ij+1} - u_{ij}}{\tau}; \tag{7}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} \right) \approx \frac{1}{h^2} \left\{ \left(\frac{u_{ij+1} + u_{i+1j+1}}{2} \right)^3 \cdot (u_{i+1j+1} - u_{ij+1}) - \left(\frac{u_{i-1j+1} + u_{ij+1}}{2} \right)^3 \cdot (u_{ij+1} - u_{i-1j+1}) \right\} \tag{8}$$

Формула, имеющаяся в правой части уравнения (1), будет заменена следующим соотношением;

$$v(t)(1 - x^2) \approx v_{j+1} (1 - x_i^2). \tag{9}$$

В формулах (7) – (9) введены следующие обозначения:

i - номер точки по координатной оси x;

j - номер, определяющий момент времени t, т.е. $t = j \cdot \tau$; $j = 0, 1, 2, \dots, m$;

$u_{ij} = u(x_i, t_j)$;

$x_i = h \cdot i$; $i = 0, 1, 2, \dots, n$;

$v_j = v(t_j)$ – известные (заданные) величины.

Расчетная схема. Подставляя формулы (7) – (9) в уравнение (1), можно получить следующую дискретную формулу относительно неизвестных значений u_{ij} искомой функции:

$$u_{ij+1} = u_{ij} + \frac{ER \cdot \tau}{3 \cdot h^2} \left\{ \left(\frac{u_{ij+1} + u_{i+1j+1}}{2} \right)^3 \cdot (u_{i+1j+1} - u_{ij+1}) - \left(\frac{u_{i-1j+1} + u_{ij+1}}{2} \right)^3 \cdot (u_{ij+1} - u_{i-1j+1}) \right\} + \{ v_{j+1} (1 - x_i^2), \text{ если } 0 \leq i \leq k; 0, \text{ если } k + 1 < i < n; \} \tag{10}$$

Здесь $k = \frac{1}{h}$ - количество точек, где функция отлична от нуля; $j = 0, 1, 2, \dots, m$.

Следует отметить, что параметр n является переменной величиной с течением времени.

Формула (10) для конкретного значения j является системой алгебраических уравнений относительно дискретных значений искомой функции u_{ij} .

Пусть теперь рассматривается формула (5).

Если будет задана функция v(t), т.е. максимальная скорость вытекающей из канала жидкости считается заданной что правую часть формулы (5) можно считать известной.

Пусть предполагается, что

$$f(t) = \frac{2}{3} \int_0^t v(t) dt \quad (11)$$

Эта функция является монотонно возрастающей функцией, т.е.

$$f(t + \Delta t) \geq f(t), \quad \Delta t > 0.$$

Интеграл в левой части формулы (5) может быть записан в виде:

$$\int_0^{p(t)} u(x, t) dx = \int_0^{p(t+\Delta t)} u(x, t) dx - \int_p^{p(t+\Delta t)} u(x, t) dx. \quad (12)$$

При малом значении Δt можно использовать теорему о среднем (Куралбаев, 2008):

$$\int_{p(t)}^{p(t+\Delta t)} u(x, t) dx \approx \underline{u}(t) \cdot [p(t + \Delta t) - p(t)],$$

$$\text{где } \underline{u}(t) = \frac{u(x, t+\Delta t) + u(x, t)}{2}.$$

Из формулы (12) следует, что

$$p(t + \Delta t) - p(t) = \frac{\int_0^{p(t+\Delta t)} u(x, t) dx - \int_0^{p(t)} u(x, t) dx}{\underline{u}(t)}$$

или

$$p(t + \Delta t) - p(t) = \frac{f(t+\Delta t) - f(t)}{\underline{u}(t)}, \quad (13)$$

$$\text{т.к. } \int_0^{p(t+\Delta t)} u(x, t) dx = f(t + \Delta t), \quad \int_0^{p(t)} u(x, t) dx = f(t).$$

Если считать, что $\Delta t = \tau$ то из формулы (13) следует

$$P_{j+1} = P_j + \frac{2(f_{j+1} - f_j)}{u_{ij+1} + u_{ij}}, \quad (14)$$

где $P_j = p(t_j)$, $j = 0, 1, 2, \dots, m$.

Итак, полученные дискретные формулы (10) и (14) определяют расчетную схему для определения значений искомых функций u_{ij} и P_j .

Метод прогонки. Формула (10) представляет собой систему алгебраических уравнений, для решения которой целесообразно использовать метод итераций, так как уравнения являются нелинейными. С этой целью система уравнений (10) должна быть преобразована в следующий стандартный вид:

$$A_i \cdot y_{i-1} - C_i \cdot y_i + A_{i+1} \cdot y_{i+1} = -F_i. \quad (15)$$

где $i = 1, 2, \dots, n-1$; причем n может быть переменной. В этой формуле (15) введены следующие обозначения:

$$u_{i-1j-1} = y_{i-1} \quad u_{ij+1} = y_i \quad u_{i+1j+1} = y_{i+1}$$

$$A_i = \frac{ER}{3} \frac{\tau}{h^2} \left(\frac{y_{i-1} + y_i}{2}\right)^3, \quad A_{i+1} = \frac{ER}{3} \frac{\tau}{h^2} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2}\right)^3; \quad (16)$$

$$C_i = 1 + A_i + A_{i+1}; \quad F_i = -y_i - \{V_{j+1}(1 - x_i^2), \text{ если } 0 \leq i \leq k, 0, \\ \text{если } k + 1 \leq i \leq n$$

Коэффициенты системы уравнений (15) A_i, C_{i+1}, F_i являются выражениями от значений искомой функции в предыдущей итерации, а в уравнениях (15) y_i является значением следующей итерации.

В каждой итерации система алгебраических уравнений (15) решается методом прогонки. Согласно сущности данного метода, решение системы уравнений (15) ищется в следующем виде:

$$y_i = \alpha_{i+1} \cdot y_{i+1} + \beta_{i+1}. \quad (17)$$

Так как система (15) представляет с собой систему алгебраических уравнений с треугольной матрицей. Здесь α_i, β_i являются неизвестными коэффициентами, называемые прогоночными.

Метод прогонки состоит из двух этапов: прямая прогонка используется для вычисления прогоночных коэффициентов α_i и β_i , а в обратной прогонке вычисляются искомые значения функции y_i .

Для определения первых прогоночных коэффициентов α_1 и β_1 используется граничное условие (3); Сравнение следующих формул:

$$y_0 = y_1;$$

$$y_0 = \alpha_1 y_1 + \beta_1$$

позволяет определить

$$\alpha_1 = 1; \quad \beta_1 = 0, \quad (18)$$

Теперь используется следующая преобразованная формула (17):

$$y_{i-1} = \alpha_i y_i + \beta_i. \quad (17^*)$$

Подставляя формулу (17*) в формулу (15), можно получить следующую формулу:

$$y_i = \frac{A_{i+1}}{C_i - A_i \alpha_i} y_{i+1} + \frac{F_i + A_i \beta_i}{C_i - A_i \alpha_i}. \quad (19)$$

Сравнивая формулы (19) и (17), можно получить следующие рекуррентные формулы:

$$\alpha_{i+1} = \frac{A_{i+1}}{C_i - A_i \alpha_i}; \quad \beta_{i+1} = \frac{F_i + A_i \beta_i}{C_i - A_i \alpha_i}. \quad (20)$$

Прямая прогонка: используя формулы (18) и (20), можно найти значения прогоночных коэффициентов.

Из граничного условия (4) следует, что

$$y_n = 0 \quad (21)$$

Обратная прогонка: формулы (21) и (17) позволяют определить искомые значения функций $y_i, i = n, n-1, \dots, 1$.

Совокупность формул (18), (20), (21) и (17) образуют численную модель

поставленной задачи. По этим формулам могут быть выполнены вычисления для одной итерации, когда заданы значения искомой функции в предыдущей итерации.

Метод итераций. Теперь необходимо определить формулы для выполнения итерационного процесса.

Пусть вводятся следующие обозначения:

Z_i – значение искомой функции в предыдущей итерации;

y_i – значение этой же функции в вычисляемой итерации.

Тогда коэффициент (15) будут записаны в следующем виде:

$$A_i = a \cdot \left(\frac{Z_{i-1} + Z_i}{2}\right)^3; A_{i+1} = a \cdot \left(\frac{Z_i + Z_{i+1}}{2}\right)^3 \quad (22)$$

$$F_i = -Z_i - \{V_{j+1}(1 - x_i^2), \text{ если } 0 \leq i \leq k; 0, \text{ если } k + 1 < i \leq n;$$

где $a = \frac{ER}{3} \cdot \frac{\square}{h^2}$ постоянная величина.

Алгоритм итерационного процесса будет иметь следующие этапы:

1⁰. Ввод начальных значений искомой функции y_i в момент времени t , то есть при j (нулевая итерация); присваивание $q_i = y_i$ (значения в предыдущий момент времени, при j):

2⁰. Цикл по параметру от нуля до n для присваивания $Z_i = y_i$.

3⁰. Цикл по параметру для вычисления коэффициентов системы уравнений (15) по формулам (22).

4⁰. Прямая прогонка:

4.1. Вычисление по формулам (18) первых прогоночных коэффициентов;

4.2. Цикл по параметру i для вычисления прогоночных коэффициентов по формулам (20).

5⁰. Обратная прогонка:

5.1. Вычисление y_n по формуле (21);

5.2. Цикл по параметру i для вычисления значений y_i , $i = n-1, n-2, \dots, 1$ по формуле (17).

6⁰. Вычисление абсолютной разности значений искомой функции для двух итераций с помощью цикла по i :

$$\gamma_i = |y_i - z_i|, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n.$$

7⁰. Определения наибольшего значения массива γ , $i = 0, 1, 2, \dots, n$.

8⁰. Проверка условия точности вычислений:

$$y_i < \varepsilon$$

8.1. если данное условие не выполняется, то осуществляется переход в пункт 2⁰ для продолжения итерационного процесса;

8.2. если данное условие выполняется, то считается, что требуемая точность достигнута и завершается итерационный процесс.

В результате выполнения данного итерационного процесса будут определены значения искомой функции y , удовлетворяющие требуемой точности, для момента t , то есть для $j + 1$.

Точность вычисления задается в виде следующего условия:

$$\max \{ |y_i - z_i| \} < \varepsilon, \tag{23}$$

где ε – достаточное малое положительное число; оно должно быть задано.

Учет «подвижности» границы области, занимаемой вытекающей жидкостью. С течением времени, по мере истечения жидкости из «канала», правая граница $x = \rho(t)$ увеличивается. Выше была определена рекуррентная формула (14) для определения величина $\rho(t)$. С учетом обозначений (16), формула (14) может быть записана в следующем виде:

$$P_{j+1} = P_j + \frac{2(f_{j+1} - f_j)}{y_i + q_i}, \tag{24}$$

где q_i - значение искомой функции в момент t , то есть при j : $q_i = u_{ij}$, а $y_i = u_{ij+1}$.

Тогда общий порядок вычислений будет следующим:

- 1⁰. Ввод начальных значений: $P_0 = 1$; $y_i = 0$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$; $n = \frac{1}{h}$;
- 2⁰. $j=0$; начало внешнего цикла; присваивание $q_i = y_i$.
- 3⁰. Алгоритм итерационного процесса, приведенный выше.
- 4⁰. Организация выводов промежуточных значений искомой функции y_i и значения P_j для определенного момента времени t или j .
- 5⁰. $j = j + 1$; переход к следующему моменту времени; вычисление P_{j+1} по формуле (24).
- 6⁰. Если $j > m$, то осуществляется переход к пункту 3⁰ для вычисления значений искомой функции y_i для следующих моментов времени t или j .

Если $j > m$, то процесс завершается и осуществляется выход из программы.

Численный эксперимент. На основе данного алгоритма решения задачи была разработана компьютерная программа, с помощью которой проведен численный эксперимент.

Целью данного численного эксперимента является исследование поведения вытекающей из щели сильновязких жидкостей, имеющих различные механические свойства, в частности, различные коэффициенты динамической вязкости.

Результаты расчетов. Численный эксперимент был проведен для различных значений безразмерного параметра ER; в данном случае рассматривались следующие его значения: ER=0.1, ER=0.5, ER=1 и ER=10. Полученные численные результаты были представлены в виде таблиц и графиков.

Таблица 1- Наибольшие значения функции $z = \xi(x, t)$

t	ER=1	ER=10	ER=0.5	ER=0.1
0.50	0.4958	0.4704	0.4977	0.4994
1.00	0.9178	0.7771	0.9497	0.9868
1.05	0.9520	0.7966	0.9889	1.0336
1.10	0.9847	0.8120	1.0269	1.0797
1.25	1.2078	0.8494	1.3330	1.2144
1.50	1.3042	0.8969	1.4421	1.4238

1.80	1.3929	0.9429	1.5563	1.6471
1.85	1.4137	0.9495	1.5725	1.6813
1.90	1.4316	0.9560	1.5877	1.7146
2.00	1.4581	0.9694	1.6156	1.7789
2.20	1.5061	0.9937	1.6812	2.1379
2.25	1.5162	0.9992	1.6953	2.1595
2.50	1.5665	1.0254	1.7658	2.2596
3.00	1.6467	1.0725	1.8651	2.4183

Сравнительное представление графиков функции, определяющей границу вытекшей вязкой жидкости, для различных моментов времени показаны на рисунках: рисунок 2 – положения границ при $t = 1$, рисунок 3 - положения границ при $t = 1,5$, рисунок 4 – положения границ при $t = 2$, рисунок 5 – положения границ при $t = 3$.

На рисунках показана правая часть границы, т.е. для $x \geq 0$, а левая часть границы (для $x \leq 0$) является зеркальным отображением правой части.

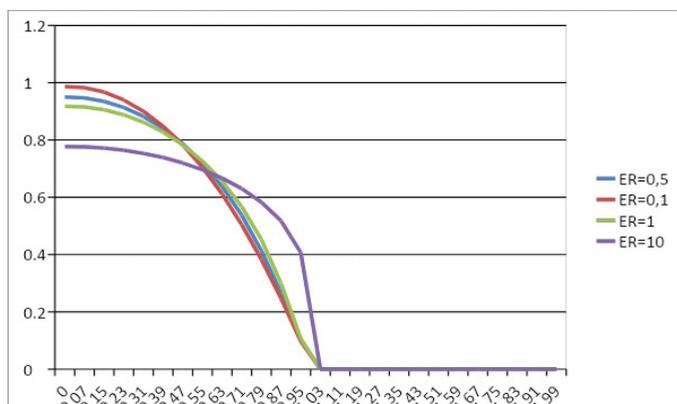


Рисунок 2 – Положения границ для момента $t = 1$

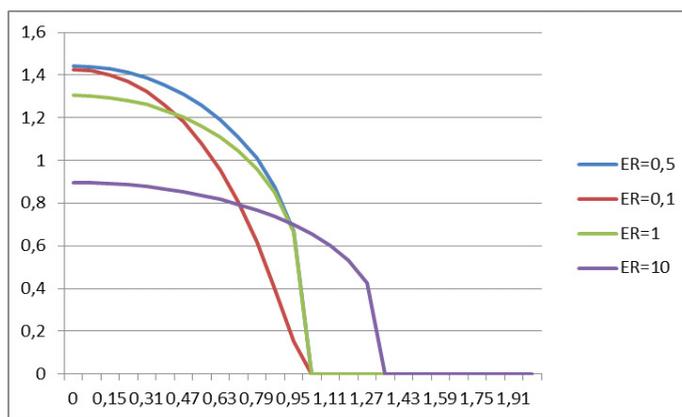


Рисунок 3 – Положения границ для момента $t = 1,5$

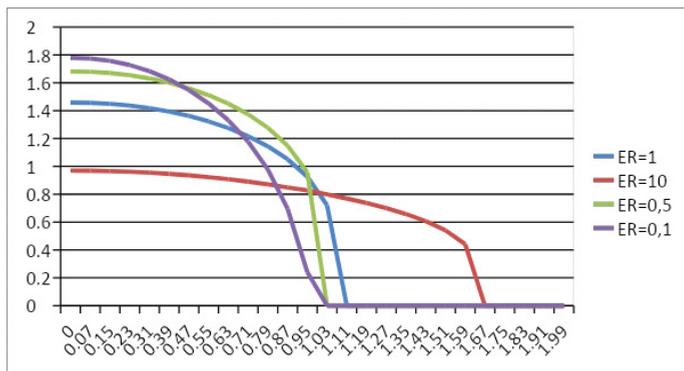


Рисунок 4 – Положения границ для момента $t = 2$

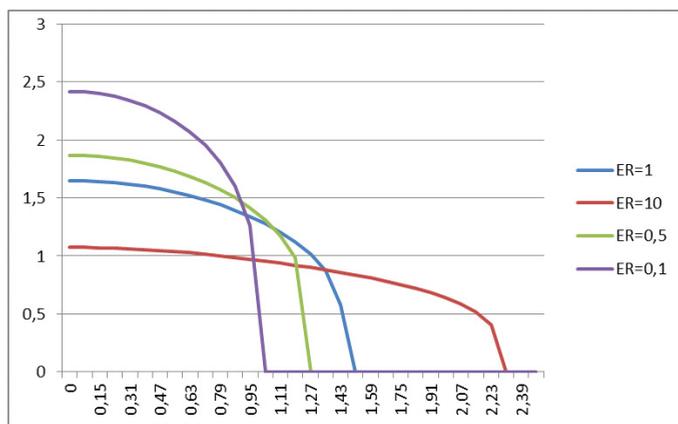


Рисунок 5 – Положения границ для момента $t = 3$

На рисунках 6-9 показана динамика изменения границы вытекшей жидкости с течением времени: на рисунке 6 – для случая, когда число ER равно 10, на рисунке 7 – для $ER=1$, на рисунке 8 – для $ER=0,5$ и на рисунке 9 – для $ER=0,1$.

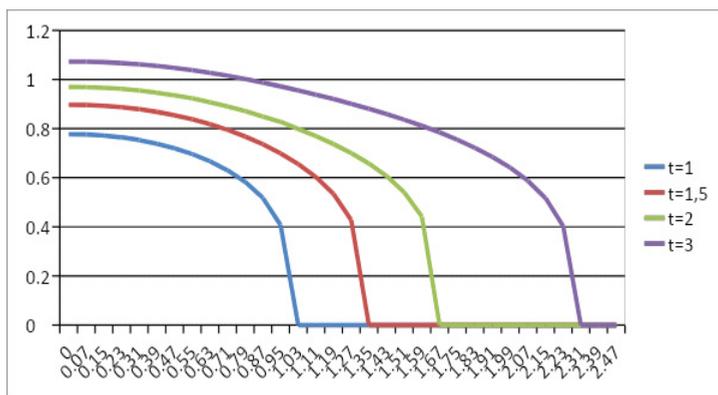


Рисунок 6 – Положения границы для случая $ER=10$

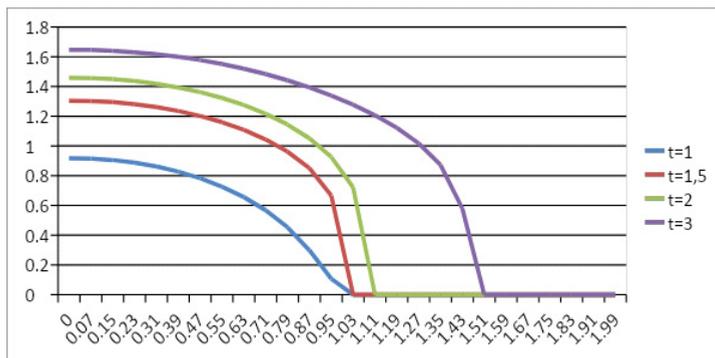


Рисунок 7 - Положения границы для случая ER=1

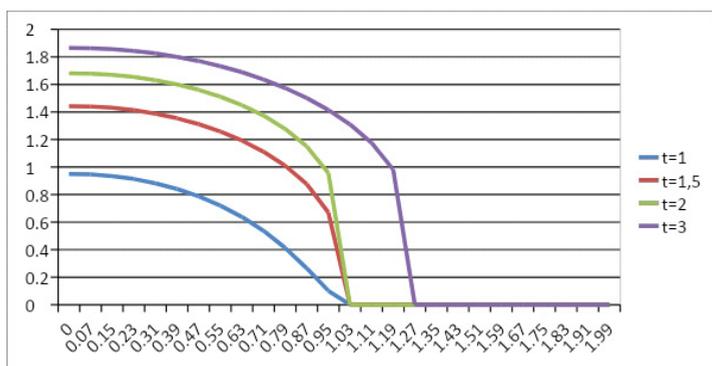


Рисунок 8 - Положения границы для случая ER=0,5

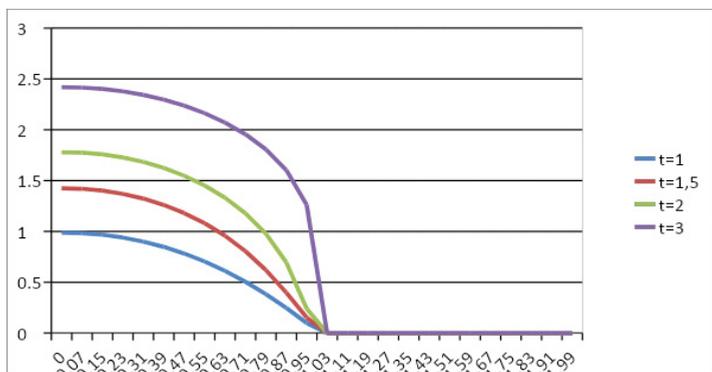


Рисунок 9 - Положения границы для случая ER=0,1

Доказательством того, что жидкость с меньшей вязкостью растекается в горизонтальном направлении быстрее, чем жидкость с большей вязкостью, являются следующие данные (Таблица 2), которые показывают положение границы вытекшей жидкости в горизонтальном направлении для различных значений числа ER. В данной таблице 2, первоначальная граница считается, что она совпадает с границей щели, т.е. равна 1.

Таблица 2 – Положение пересечения границы жидкости с горизонтальной осью

t	ER=1	ER=10	ER=0.5	ER=0.1
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.05	1.00	1.03	1.00	1.00
1.10	1.00	1.05	1.00	1.00
1.25	1.00	1.15	1.00	1.00
1.50	1.00	1.33	1.00	1.00
1.80	1.01	1.51	1.00	1.00
1.85	1.05	1.55	1.00	1.00
1.90	1.06	1.59	1.00	1.00
2.00	1.07	1.65	1.00	1.00
2.20	1.15	1.79	1.03	1.00
2.25	1.17	1.81	1.03	1.00
2.50	1.27	1.97	1.11	1.00
3.00	1.45	2.27	1.27	1.00

Здесь приведены результаты расчетов для промежутка времени $0 \leq t \leq 3$. В случае, когда $ER=0.1$, т.е. когда динамический коэффициент вязкости жидкости является большим числом, горизонтальная граница вытекшей жидкости остается неизменной. Для $ER=0.5$ изменение этой границы начинается после $t \geq 2,20$, для $ER=1 - t \geq 1,80$ и для $ER=10$ после $t \geq 1,05$.

Положение точки пересечения поверхности вытекшей жидкости с горизонтальной осью для различных моментов времени для различных значений числа ER показано 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=10	1,03	1,35	1,67	2,31
ER=1	1,03	1,03	1,11	1,51
ER=0,5	1,01	1,01	1,01	1,27
ER=0,1	1,00	1,00	1/00	1,03

Процессы перехода горных пород перед землетрясениями из ненарушенного состояния в состояние динамического разрушения, в условиях ограниченности объема очаговой зоны и сжатия на больших глубинах, происходят замедленно. Такое замедление может быть использовано в прогностических целях (Ким и др., 2022: 69-84).

Выводы

Анализ результатов, полученных в численном эксперименте, позволяют сделать следующее заключение.

1. Сравнение результатов расчетов для различных значений числа ER (Таблица 1) показало, что максимальное поднятие поверхности вытекшей жидкости $z = \xi(x, t)$ при малых значениях числа ER больше чем при больших

его значениях. Следует напомнить, что число ER обратно пропорционально коэффициенту динамической вязкости вытекающей жидкости. Это означает, что вытекающая жидкость, динамический коэффициент которой является сравнительно большим, поднимается выше и меньше растекается в горизонтальном направлении, чем жидкость, у которой динамический коэффициент вязкости меньше.

2. Данные, приведенные в таблицах 2 и 3 показывают, что сильновязкая жидкость с меньшим коэффициентом динамической вязкости растекается в горизонтальном направлении более шире нежели жидкость с большим коэффициентом вязкости. Вязкая жидкость с большим коэффициентом вязкости (при малых числах ER) в начальные моменты времени ведет себя как твердое тело.

3. Результаты расчетов компьютерные моделирование показали, что предложенная здесь модель движения сильновязкой жидкости может быть использована для описания процесса истечения магматических веществ из нижележащих недр Земли по узкому каналу, образованным в тектоносфере и приводит к возбуждению температурной аномалии в мантии. Такая аномалия развивается и вызывает подъем вещества из глубоких слоев наружу и погружение изначально сформировавшихся слоев земной коры вглубь мантии.

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

ЛИТЕРАТУРА

Белоцерковский О.М., Опарин А.М., Чететкин В.М. (2008). Численное моделирование гидродинамических неустойчивостей и турбулентности. В книге «Будущее прикладной математики. лекции для молодых исследователей. От идей до технологии». Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: КомКнига, 512 с.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. (2001). Глубинная геодинамика. – Новосибирск, 409 с.

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

Кузьмин М.И., Ярмолюк Б.Б. (2016). Тектоника плит и мантийные плюмы – основа эндогенной тектонической активности Земли последние 2 млрд лет. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео». Геология и геофизика. Т.57, №1. 11–30.

Куралбаев З.К. (2008). Модельное исследование тектонических движений в системе «литосфера-астеносфера». Алматы, 212 с.

Лобковский Л.И. (2016). Тектоника деформируемых литосферных плит и модель региональной геодинамики применительно к Арктике и Северо-Восточной Азии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео». Геология и геофизика. Т.57, №3, 11–30.

Тихонов А.Н., Самарский А.А. (1977). Уравнения математической физики. М.: Наука, 736 с.

Kyung H.M., Chongyoup K. (2010). Simulation of Particle Migration in Free-Surface Flows. AIChE Journal. N.10. Vol. 56, 2539–2550.

REFERENCES

- Belotserkovsky O.M., Oparin A.M., Chechetkin V.M. (2008). Numerical simulation of instabilities and turbulence gidrodinmicheskikh // In the book "The Future of Applied Mathematics. lectures for young researchers. From ideas to technology ". Ed. G.G.Malinetskogo. -M.: KomKniga, p. 512 (in Rus.)
- Dobretsov N.L., Kirdyashkin A.G., Kirdyashkin A.A. (2001). Deep geodynamics. Novosibirsk, 409 p. (in Rus.)
- Kim A.S., Shpadi Yu. R., Litvinov Yu. G. (2022). Mathematical modeling of non-stationary processes in a seismically active zone. Dynamic Processes in Geospheres. Vol. 14, № 1, 69–84. (in Rus.)
- Kuralbayev Z.K. (2008). Model study tectonic movements in the "lithosphere-asthenosphere." Almaty, p. 212. (in Rus.)
- Kuzmin M.I., Yarmolyuk B.B. (2016). Tectonics of plates and mantle plumes - the basis of endogenous tectonic activity of the Earth for the last 2 billion years. Novosibirsk: Izdatel'stvo SB RAS, Geo branch. Geology and geophysics. Vol.57. No.1. 11–30. (in Rus.)
- Kyung H.M., Chongyoun K. (2010), Simulation of Particle Migration in Free-Surface Flows. AIChE Journal. N.10. Vol.56 2539–2550. (in Eng.)
- Lobkovsky L.I. (2016). Tectonics of deformable lithospheric plates and a model of regional geodynamics applied to the Arctic and North-East Asia. Novosibirsk: Izdatel'stvo SB RAS, branch "Geo". Geology and geophysics. Vol.57. No.3, 11–30. (in Rus.)
- Tikhonov A.A. Samarskii A.A. (1977). The equations of mathematical physics. M.: Nauka, 736 p. (in Rus.).

МАЗМҰНЫ

Г. Әбдіқалық, Ә. Мұқанова, А. Назырова CRF ЖӘНЕ RANDOM FOREST МОДЕЛДЕРІНІҢ КӨМЕГІМЕН ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕ АТАЛҒАН ОБЪЕКТІЛЕРДІ ТАҢУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУ.....	7
Г.Б. Абдикеримова, М.Б. Есенова, Т.Т. Оспанова, У.Ж. Айтимова, М. Айтимов ҒАРЫШТЫҚ КЕСКІНДЕРДІ ӨНДЕУДЕ АҚПАРАТТЫҚ ТЕКСТУРАЛЫҚ ЛАВС МАСКАЛАР ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ.....	18
Б.У. Асанова, Б.Б. Оразбаев, Ж.Ж. Молдашева, Г.Ж. Шүйтенов, Э.М. Дюсембина ТҮРЛІ СИПАТТАҒЫ ҚОЛ ЖЕТІМДІ АҚПАРАТТАР НЕГІЗІНДЕ БАЯУ КОКСТЕУ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСҚАН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ АГРЕГАТТАРЫ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	28
Г.Б. Бахадирова, Н. Тасболатұлы, А.С. Муканова, Ш. Тураев МАТЛАВ SIMULINK-ТЕ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕ ҮШІН КЕРІ БАЙЛАНЫСТЫ СЫЗЫҚТЫҚ БАСҚАРУДЫ ЖОБАЛАУ.....	44
Е.С. Голенко, А.А. Исмаилова ПРЕДСКАЗАНИЕ ФУНКЦИЙ БЕЛКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИИ VILSTM И АЛГОРИТМА САМОВНИМАНИЯ.....	62
Л.З. Жолшиева, Т.К. Жукабаева, Ш. Тураев, М.А. Бердиева CNN НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚ ҒЫМ ТІЛІН ТАҢУ.....	76
К.К. Кадиркулов, А.А. Исмаилова, Ә.Б. Бейсегұл ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІН ТАЛДАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ МОДЕЛІН ТАҢДАУ.....	88
А. Муканова, А. Муханова, Т. Оспанова, А. Бакиева, В. Махатова ҚҰЗЫРЕТТІК ТӘСІЛДЕР НЕГІЗІНДЕГІ БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫН ӨЗІРЛЕУДІҢ МАҢЫЗДЫ АСПЕКТІЛЕРІ.....	99
Ш.Ж. Мусиралиева, М.А. Болатбек, М. Сағынай, Ж.Ы. Елтай, К.Б. Багитова ЭКСТРЕМИСТІК МӘЛІМЕТТЕР ТҮСІНІГІ ЖӘНЕ ЭКСТРЕМИЗМГЕ ҚАРСЫ КҮРЕС ЖОБАЛАРЫНА ЖҮЙЕЛІК ШОЛУ.....	112
Д. Оралбекова, О. Мамырбаев, А. Жунусова, Б. Жұмажанов КҮРДЕЛІ МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ БАР ТІЛГЕ АРНАЛҒАН ЗАМАНАУИ ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	131
Б.Т. Рзаев, Ж.Т. Бельдеубаева, И.М. Увалиева СТЕКИНГ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АҚПАРАТТЫҚ ЖЕЛІДЕГІ ЗИЯНДЫ ДЕРЕКТЕРДІ АНЫҚТАУ.....	147
Н.С. Баймулдина, Г.Н. Скабаева, А.Д. Жақсыбаева БИОТЕХНОЛОГИЯ САЛАСЫНДАҒЫ ЖОБАЛАРДЫ БАСҚАРУДЫҢ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУІ.....	161
А.Ә. Таурбекова, Ө.Ж. Мамырбаев, Б. Т. Қарымсақова, Б. Ж. Жұмажанов МАГМАНЫҢ ШЫҒУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ.....	176
Г.С. Шаймерденова, Р.А. Саркулакова, М.М. Тұрғанбекова, Б.Ө. Тастанбекова, М.Т. Байжанова, МОБИЛЬДІ ЖӘНЕ ОНЛАЙН-БАНКИНГТЕГІ ЖЕТІСТІКТЕР: ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН ИННОВАЦИЯЛАРДЫ КЕШЕНДІ ТАЛДАУ.....	193
Я. Кучин, Н. Юничева, Р.И. Мухамедиев, Е. Мухамедиева МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН ҚАБАТТЫҢ ТОТЫҒУ АЙМАҚТАРЫН ОҚШАУЛАУ МҮМКІНДІГІН БАҒАЛАУ.....	210

СОДЕРЖАНИЕ

Г. Абдикалык, А. Муканова, А. Назырова РАСПОЗНАВАНИЕ ИМЕНОВАННЫХ ИМЕНОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ В КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ CRF И RANDOM FOREST: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ.....	7
Г.Б. Абдикеримова, М.Б. Есенова, Т.Т. Оспанова, У.Ж. Айтимова, М. Айтимов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНФОРМАТИВНОЙ ТЕКСТУРНОЙ МАСОК ЛАВСА ПРИ ОБРАБОТКЕ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	18
Б.У. Асанова, Б.Б. Оразбаев, Ж.Ж. Молдашева, Г.Ж. Шуйтенов, Э.М. Дюсембина МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ УСТАНОВКИ ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДОСТУПНОЙ ИНФОРМАЦИИ РАЗЛИЧНОГО ХАРАКТЕРА.....	28
Г.Б. Бахадирирова, Н. Тасболатұлы, А.С. Муканова, Ш.Тураев ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ В MATLAB SIMULINK.....	44
Е.С. Голенко, А.А. Исмаилова ПРЕДСКАЗАНИЕ ФУНКЦИЙ БЕЛКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИИ VILSTM И АЛГОРИТМА САМОВНИМАНИЯ.....	62
Л.З. Жолшиева, Т.К. Жукабаева, Ш. Тураев, М.А. Бердиева РАСПОЗНАВАНИЕ КАЗАХСКОГО ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА НА ОСНОВЕ CNN.....	76
К.К. Кадиркулов, А.А. Исмаилова, Ә.Б. Бейсегұл ВЫБОР МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПО ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	88
А. Мукашова, А. Муханова, Т. Оспанова, А. Бакиева, В. Махагова ВАЖНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ, ОСНОВАННЫХ НА КОМПЕТЕНТНОСТНОМ ПОДХОДЕ.....	99
Ш.Ж. Мусиралиева, М.А. Болатбек, М. Сағынай, Ж.Ы. Елтай, К.Б. Багитова ПОНЯТИЕ ЭКСТРЕМИСТСКИХ ДАННЫХ И СИСТЕМНЫЙ ОБЗОР ПРОЕКТОВ ПО БОРЬБЕ С ЭКСТРЕМИЗМОМ.....	112
Д. Оралбекова, О. Мамырбаев, А. Жунусова, Б. Жумажанов ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЯЗЫКОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЯЗЫКА СО СЛОЖНОЙ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ.....	131
Б.Т. Рзаев, Ж.Т. Бельдеубаева, И.М. Увалнева ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВРЕДОНОСНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СТЕКИНГА.....	147
Н.С. Баймулдина, Г.Н. Скабаева, А.Д. Жақсыбаева ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В ОБЛАСТИ БИОТЕХНОЛОГИИ.....	161
А.А. Таурбекова, О.Ж. Мамырбаев, Б.Т. Карымсакова, Б.Ж. Жумажанов ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ МАГМЫ.....	176
Г.С. Шаймерденова, Р.А. Саркулакова, М.М. Турганбекова, Б.О. Тастанбекова, М.Т. Байжанова ДОСТИЖЕНИЯ В МОБИЛЬНОМ И ОНЛАЙН-БАНКИНГЕ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИЙ.....	193
Я. Кучин, Н. Юничева, Р.И. Мухамедиев, Е. Мухамедиева ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН ПЛАСТОВОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	210

CONTENTS

G. Abdikalyk, A. Mukanova, A. Nazyrova NAMED ENTITY RECOGNITION FOR KAZAKH LANGUAGE USING CRF AND RANDOM FOREST MODELS: A COMPARATIVE STUDY.....	7
G.B. Abdikerimova, M.B. Yessenova, T.T. Ospanova, U.Zh Aitimova, M. Murat USE OF INFORMATION TEXTURE LAWS MASK METHODS IN SPACE IMAGE PROCESSING.....	18
B. Assanova, B. Orazbayev, Zh. Moldasheva, G. Shuitenov, E. Dyussemina METHODOLOGY FOR DEVELOPING MODELS OF INTERRELATED TECHNOLOGICAL UNITS OF A DELAYED COKING UNIT ON THE BASIS OF AVAILABLE INFORMATION OF A DIFFERENT NATURE.....	28
G.B. Bahadirova, H. Tasbolatuly, A.S. Mukanova, Sh. Turaev DESIGNING LINEAR FEEDBACK CONTROL FOR A NONLINEAR SYSTEM IN MATLAB SIMULINK.....	44
Y.S. Golenko, A.A. Ismailova PROTEIN FUNCTION PREDICTION USING THE COMBINATION OF BILSTM AND SELF-ATTENTION ALGORITHM.....	62
L. Zholshiyeva, T. Zhukabayeva, Sh. Turaev, M. Berdieva KAZAKH SIGN LANGUAGE RECOGNITION BASED ON CNN.....	76
K. Kadirkulov, A. Ismailova, A. Beissegul SELECTION OF A MACHINE LEARNING MODEL FOR INTERPRETING LABORATORY RESULTS.....	88
A. Mukashova, A. Mukanova, T. Ospanova, A. Bakiyeva, V. Makhatova IMPORTANT ASPECTS OF DEVELOPING EDUCATIONAL PROGRAMS BASED ON THE COMPETENCY-BASED APPROACH.....	99
Sh. Mussiraliyeva, M. Bolatbek, M. Sagynay, Zh. Yeltay, K. Bagitova THE CONCEPT OF EXTREMIST DATA AND A SYSTEMATIC REVIEW OF ANTI-EXTREMISM PROJECTS.....	112
D. Oralbekova, O. Mamyrbayev, A. Zhunussova, B. Zhumazhanov STUDY OF MODERN METHODS OF LANGUAGE MODELING FOR A LANGUAGE WITH A COMPLEX MORPHOLOGICAL STRUCTURE.....	131
B. Rzayev, Zh. Beldeubayeva, I. Uvaliyeva IDENTIFICATION OF MALICIOUS DATA IN THE INFORMATION NETWORK BY USING THE STACKING METHOD.....	147
N.S. Baimuldina, G.N. Skabayeva, A. Zhaksybayeva PROJECT MANAGEMENT SOFTWARE IN THE FIELD OF BIOTECHNOLOGY.....	161
A.A. Taurbekova, O.Zh. Mamyrbaev, B.T. Karymsakova, B.Zh. Zhumazhanov INVESTIGATIONS OF MAGMA OUTPUT PROCESS.....	176
G.S. Shaimerdenova, R.A. Sarkulakova, M.M. Turganbekova, B.O. Tastanbekova, M.T. Baizhanova ADVANCEMENTS IN MOBILE AND ONLINE BANKING: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES AND INNOVATIONS.....	193
Y. Kuchin, N. Yunicheva, R.I. Mukhamediev, E. Mukhamedieva ESTIMATION OF THE POSSIBILITY TO SELECT RESERVOIR OXIDATION ZONES BY MACHINE LEARNING METHODS.....	210

**Publication Ethics and Publication Malpractice
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://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Подписано в печать 28.09.2023.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

18,0 п.л. Тираж 300. Заказ 3.